



Inovace separátoru kovových částic pro plastikářské provozy

Diplomová práce

Studijní program: N2301 – Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T010 – Inovační inženýrství
Autor práce: **Bc. David Klimenta**
Vedoucí práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.





Innovation of metal separator for plastic operations

Master thesis

Study programme: N2301 – Mechanical Engineering
Study branch: 3909T010 – Innovation Engineering

Author: **Bc. David Klimenta**
Supervisor: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David Klimenta**
Osobní číslo: **S15000340**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Inovační inženýrství**
Název tématu: **Inovace separátoru kovových částic pro plastikářské provozy**
Zadávací katedra: **Katedra částí a mechanismů strojů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Inovace separátoru, který se používá v centrální dopravě ke stroji, nejčastěji vstřikolisu, nebo extruderu. Tyto separátory budou součástí potrubních systémů.

1. Inovujte stávající separátory kovových částic pro plastikářské provozy v daných podmínkách firmy tak, aby bylo energeticky nenáročné.
2. Proveďte rozbor stávajícího stavu, proveďte jeho kritické hodnocení.
3. Navrhněte nové požadavky na stávající zařízení.
4. Proveďte několik inovačních návrhů řešení a jejich zhodnocení.
5. Určete optimální variantu dle zvolených kritérií a k nim přiřazených váhových faktorů.
6. Sestavte rozhodovací tabulku a proveďte výběr varianty pro realizaci.
7. Udělejte na vybranou variantu úplný konstrukční návrh včetně výrobně technické dokumentace a ekonomického zhodnocení.

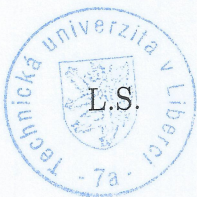
Rozsah grafických prací: přílohy dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:


- [1] PEŠÍK, L. *Části strojů. 1. díl.* Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-573-0
[2] PEŠÍK, L. *Části strojů. 2. díl.* Liberec: Technická univerzita 2005. ISBN 978-80-7372-574-7
[3] MAŠÍN I. a P. JIRMAN. *Metody systematické kreativity.* Liberec: Technická univerzita v Liberci 2012. ISBN 978-80-7372-853-3
[4] LEINVEBER, J. a P. VÁVRA. *Strojnické tabulky.* Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4
[5] MAŠÍN I. a L. ŠEVČÍK. *Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku.* Vyd. 1. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4
[6] MAŠÍN, I. *Inovační inženýrství - Plánování a návrh inovovaného výrobku.* 1. vydání. Liberec: TUL, 2012. 168s. ISBN 978-80-7372-852-6.
[7] WILLIAMS, J. A. *Engineering tribology.* New York: Cambridge University Press, 2005, 488 s. ISBN 0-521-60988-7.
[8] ROSENAU, M.: *Řízení projektů.* 3. vydání. Brno: Computer Press Brno, 2007. 344s. ISBN 978-80-251-1506-0]
Databáze knihovny TUL

Vedoucí diplomové práce: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
Katedra částí a mechanismů strojů

Datum zadání diplomové práce: 12. února 2017
Termín odevzdání diplomové práce: 12. května 2018


prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan




prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.
vedoucí katedry

V Liberci dne 12. února 2017

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Poděkování:

Rád bych poděkoval především vedoucímu práce prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi, CSc. za odborné vedení, za cenné rady a připomínky a za ochotu při tvorbě diplomové práce. Velké poděkování také patří ing. Pavlu Tuláčkovi za přínosné konzultace a pomoc s řešením této práce. Dále děkuji firmě A.M. spol. s r.o. a jejím zaměstnancům za spolupráci v průběhu tohoto projektu. V neposlední řadě děkuji mé rodině za podporu při psaní diplomové práce i v době celého studia.

Diplomová práce vznikla za podpory projektu Studentské grantové soutěže pro rok 2017 na Fakultě strojní TU v Liberci s názvem: „Inovace výrobku a procesů v technické praxi“, podporované Ministerstvem školství, mládeže a tělovýchovy České republiky.

Inovace separátoru kovových částic pro plastikářské provozy

ANOTACE:

Diplomová práce se zabývá inovací a konstrukčním návrhem separátoru kovových částic určeného pro plastikářské provozy, kde separace probíhá v pomalu pohybujícím se sloupci materiálu. Práce je vypracována pro firmu A.M. spol. s r.o. První část se zabývá průzkumem trhu a patentů. Dále jsou specifikovány zákaznické potřeby a transformovány na parametry výrobku pomocí QFD. Na základě zjištěných informací jsou vytvořeny čtyři koncepty, z nichž je pomocí metody AHP vybrána vítězná varianta. Ta je dále rozpracována a jsou provedeny návrhové a kontrolní výpočty. Konstrukce a princip jsou podrobně popsány. Práce zahrnuje konstrukční návrh včetně výkresové dokumentace a ekonomického zhodnocení, ve kterém je stanovena cena zařízení.

Klíčová slova: inovace, konstrukce, separace kovů, patentový průzkum, QFD, koncept, pevnostní kontrola, cenová kalkulace

Innovation of metal separator for plastic operations

ANNOTATION:

The diploma thesis deals with the innovation and design of the separator of metal particles intended for plastic operations where the separation takes place in a slowly moving column of material. The thesis is prepared for the company A.M. spol. s r.o. The first part deals with market and patents research. In addition, customer needs are specified and transformed into product parameters using QFD. On the basis of the information, four concepts are created, from which the AHP method is chosen. This is further elaborated and design and control calculations are performed. The design and principles are described in detail. The work includes design, including drawing documentation and economic evaluation, in which the price of the equipment is determined.

Key words: Innovation, construction, Metal separation, Patent research, QFD, Concept, Strength control, Price calculation

Počet stran:	75
Počet obrázků:	46
Počet tabulek:	14
Počet příloh:	4

Obsah

Použité symboly a značky	8
1. Úvod.....	12
1 Představení firmy.....	13
2 Cíle práce	15
2.1 Inovační záměr	17
2.2 Inovační prohlášení.....	17
3 Inovační příležitosti	18
3.1 Průzkum trhu	18
3.1.1 Separátory pro materiály ve volném pádu.....	18
3.1.2 Separátory pro provoz v pomalu tekoucím sloupci materiálu	19
3.2 Konkurenční Separátory	19
3.3 Patentový průzkum	21
4 Specifikace uživatelských a zákaznických potřeb.....	24
4.1 Matice QFD.....	24
4.2 Aplikace matice QFD	24
5 Generování konceptů	27
5.1 Koncept A	27
5.1.1 Použitý princip:.....	29
5.1.2 Popis činnosti.....	31
5.2 Koncept B	31
5.2.1 Popis činnosti.....	33
5.3 Koncept C	33
5.3.1 Použitý princip:.....	33
5.3.2 Popis činnosti.....	34
5.4 Koncept D	35
5.4.1 Použitý princip:.....	35

5.4.2	Popis činnosti.....	36
6	Výběr konceptu	37
6.1	Parametry	37
6.2	Analytic hierarchy proces (AHP)	38
7	Výpočty a výběr pohonu	44
7.1	Momenty setrvačnosti.....	45
7.2	Požadovaná doba na otočení mechanismu.....	46
7.3	Třecí moment těsnění o rotor	47
7.4	Třecí moment od tření materiálu	48
7.5	Hybnost materiálu	50
7.6	Odporový moment pryžového těsnění.....	51
7.7	Kontrola rotorového hřídele při běžném provozu	54
7.8	Kontrola rotorového hřídele maximálním zatížením – zaseknutí částice.....	57
7.9	Pevnostní kontrola hřídele	60
7.10	Vypočet ložisek	62
8	Konstrukce	63
9	Ekonomické zhodnocení	66
9.1	Kalkulace ceny dílů	66
9.2	Kalkulace ceny kompletního výrobku	68
10	Závěr	69
	Seznam použité literatury	71
	Seznam obrázků	73
	Seznam tabulek	74
	Seznam příloh	75

Použité symboly a značky

Značka	Název	Jednotka
CI	Konzistenční index	[–]
X	Vlastní číslo matice	[–]
k	Rozměr matice	[–]
RI	Random index	[–]
M	Moment pneumatického válce	[N · m]
M _i	Setrvačný moment	[N · m]
M _{t1}	Třecí moment těsnění o rotor	[N · m]
M _{t2}	Třecí moment od tření materiálu o stěnu těla	[N · m]
M _o	Ohybový moment pryžového těsnění	[N · m]
M _h	Moment od hybnosti materiálu	[N · m]
M _{P1}	Požadovaný krouticí moment kyvného pohonu pro odporové síly	[N · m]
M _{P2}	Požadovaný krouticí moment kyvného pohonu pro moment setrvačnosti	[N · m]
m	Hmotnost	[kg]
ρ	Hustota	[kg · m ⁻³]
Q	Objem průchozího materiálu za hodinu	[m ³ · hod ⁻¹]
P	Výkon extruderu	[kg · hod ⁻¹]
ρ _s	Sypná hmotnost plastového materiálu	[kg · m ⁻³]
v	Rychlost proudění materiálu	[m · s ⁻¹]
S	Světlá průchozí plocha	[m ²]
t _o	Čas otočení rotoru	[s]
I _{x1}	Moment setrvačnosti rotoru	[kg · m ²]
I _{x2}	Moment setrvačnosti těsnění	[kg · m ²]
I _{x3}	Moment setrvačnosti plechu	[kg · m ²]
I _{x4}	Moment setrvačnosti granulátu	[kg · m ²]
ε	Úhlové zrychlení	[rad · s ⁻²]
F _{nk}	Normálová síla od stlačení o kroužku	[N]
F _d	Deformační síla stlačení o – kroužku	[N]
F _{tk}	Třecí síla o kroužku o rotor	[N]

φ	Úhel vnitřního tření	[°]
f_{o-t}	Koeficient tření teflon – ocel	[–]
r_k	Poloměr o – kroužku	[mm]
f	Součinitel vnitřního tření sypkého plastového materiálu	[–]
w	Koeficient sypnosti	[–]
γ	Sypná tíha	[N · m ⁻³]
p_v	Vertikální tlak	[Pa]
p_h	Horizontální tlak	[Pa]
F_h	Horizontální síla	[N]
F_v	Vertikální síla	[N]
F_n	Normálová síla	[N]
F_t	Třecí síla	[N]
f_{o-p}	Koeficient tření plastový materiál – ocel	[–]
p	Hybnost materiálu	[kg · m · s ⁻¹]
m_m	Hmotnost plastového materiálu	[kg]
F_i	Síla od hybnosti materiálu	[N]
F_g	Gravitační síla	[N]
\bar{x}	Střední hodnota měření odporového momentu	[N · m]
S^2	Rozptyl měření odporového momentu	[N · m]
F_z	Síla ve směru z	[N]
G	Gravitační síla	[N]
l	Délka (vzdálenost)	[mm]
R_A	Reakce v místě A	[N]
R_B	Reakce v místě B	[N]
T	Tečná síla	[N]
M_o	Ohybový moment	[N · m]
F_y	Síla ve směru y	[N]
M_k	Krouticí moment	[N · m]
$M_{0,6}$	Krouticí moment kyvného pohonu při tlaku 0,6 MPa	[N · m]
N	Počet cyklů	[1]
R_e	Mez kluzu	[MPa]
R_m	Mez pevnosti	[MPa]
σ_c^*	Časovaná mez únavy pro střídavý ohyb	[MPa]

v	Součinitel velikosti	[–]
η	Součinitel jakosti povrchu	[–]
β_o	Vrubový součinitel pro ohyb	[–]
q	Vrubová citlivost	[–]
α	Součinitel tvaru	[–]
$q_{1,2}$	Součinitele vrubové citlivosti	[–]
β_{No}	Vrubový součinitel pro časovanou pevnost pro ohyb	[–]
b	Konstanta funkce $f(N)$ pro ocel	[–]
σ_o	Napětí v ohybu	[MPa]
W_o	Průřezový modul v ohybu	[mm ³]
d	Průměr hřídele	[mm]
k_σ	Bezpečnost v ohybu	[–]
τ_c^*	Časovaná mez únavy pro střídavý ohyb	[MPa]
β_k	Vrubový součinitel pro krut	[–]
β_{Nk}	Vrubový součinitel pro časovanou pevnost pro krut	[–]
W_k	Průřezový modul v krutu	[mm ³]
τ_k	Napětí v krutu	[MPa]
k_τ	Bezpečnost v krutu	[–]
k	Celková bezpečnost	[–]
F_R	Radiální síla	[N]
D	Vnější průměr ložiska	[mm]
d	Vnitřní průměr ložiska	[mm]
b	Šířka ložiska	[mm]
C	Dynamická únosnost	[N]
C_0	Statická únosnost	[N]
P_0	Ekvivalentní statické zatížení ložiska	[N]
S_0	Součinitel bezpečnosti valivého ložiska při statickém namáhání	[–]
P	Ekvivalentní dynamické zatížení ložiska	[N]
L_h	Trvanlivost ložiska v hodinách	[h]
n	Otáčky	[min ⁻¹]
MAT	Materiálové náklady	[Kč · ks ⁻¹]
MOH	Materiálové režijní náklady	[Kč · ks ⁻¹]

PDC	Výrobní režijní náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
PAC	Správní režijní náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
PPC	Plánované výrobní náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
nm	Náklady na materiál	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
cs	Cena strojní minuty	$[\text{Kč} \cdot \text{min}^{-1}]$
t_v	Čas výroby	$[\text{min}]$
SG&A	Odbytové režijní náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
SUC	Náběhové náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
TC	Plánované celkové náklady	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
MAR	Zisková přírážka	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
TP	Transferová cena	$[\text{Kč} \cdot \text{ks}^{-1}]$
cm	cena montážní minuty	$[\text{Kč} \cdot \text{min}^{-1}]$
t_m	Čas montáže	$[\text{min}]$

1. Úvod

V současné době se objevuje mnoho nových materiálů. Například v automobilovém průmyslu je mnoho původně kovových dílů nahrazováno díly plastovými, či kompozitními. Již zmiňovaný automobilový průmysl zažívá v poslední době velký rozvoj, produkce se stále zvyšuje a s tím je spojeno přibývání mnoha firem dodávajících plastové díly. Lze tedy konstatovat, že plastikářské provozy jsou na vzestupu, nejedná se pouze o automobilový průmysl, ale přibývá stále nových plastikářských firem v oblasti elektrotechnického průmyslu, či ve výrobě technických textilií aj. Právě v oblastech s neustálým rozvojem a růstem je důležité udržet se v konkurenčním boji. To je možné díky neustálému zlepšování a využívání nových technologií. Je tedy nutné zavádět nové inovace a efektivně řídit inovační proces. Touto cestou musí jít i firmy dodávající zařízení pro plastikářské provozy. Cílem je nabídnout firmám zařízení, které půjde ruku v ruce s trendy v této oblasti.

Diplomová práce bude řešena ve spolupráci s firmou A.M. spol. s r.o.. A.M. znamená v tomto případě automatizace a mechanizace, konkrétně plastikářských provozů. Pojem mechanizace lze chápat jako využití zařízení pro zjednodušení práce. Automatizace umožňuje řízení zařízení a procesů. Tyto dva pojmy úzce souvisí s rozvojem a produktivitou firem, urychlují a usnadňují procesy výroby.

Tématem diplomové práce bude inovace separátoru kovových částic pro plastikářské provozy. Tento druh zařízení se řadí do oblasti periférií plastikářských strojů konkrétně k zařízením zajišťující čistotu materiálu. Vstupním materiálem do plastikářských strojů bývá buď čistý materiál v podobě granulátu, či zpětný materiál v podobě re-granulátu nebo drtě. Vzhledem k ekologickému myšlení spojeného s ekonomickou výhodností se zavádí stále častěji zpětné zpracování drtě, která ovšem obsahuje prach a může obsahovat kovové nečistoty. Průchod kovové částice až do plastikářského stroje by mohl mít v některých případech až fatální důsledky. Částice by mohla poškodit jednu z hlavních částí stroje, šnek, trysku či vytlačovací hlavu. V případě procesu vstřikování by mohlo dojít k poškození formy, jejíž cena může převyšovat cenu vstřikovacího stroje. Cílem bude návrh a inovace separátoru kovových nečistot, který zajistí čistotu materiálu a tím zamezí nákladným opravám strojů a procesů s tím spojených. Přínosem pro firmu A.M. spol. s r.o., bude rozšíření portfolia a možnost nabídnout firmám cenově dostupné zařízení pro zajištění čistoty materiálu.

1 Představení firmy

Společnost A.M. spol. s r.o. byla založena v roce 1991 Ing. Liborem Hošicem.



Obr. 1 – Logo A.M. spol. s r.o. [Archiv A.M.]

Základ společnosti tvořili bývalí pracovníci podniku Plastimat Liberec, oddělení konstrukce a výroby periferních strojů a zařízení pro plastikářské provozy. Založení této společnosti byl důsledkem odprodeje podniku Plastimat německé společnosti Peguform, jejíž vedení si nepřálo udržovat vývojové a výrobní oddělení strojů. Nově vzniklá společnost v pronajatých prostorách prakticky navázala na původní činnost. V nových podmínkách připravila postupně nové výrobky. Řadu pomaloběžných nožových mlýnů a řadu centrálních nožových mlýnů pro mletí technologických odpadů, sortiment sušících sil a odvlhčovacích sušáren pro sušení hygroskopických materiálů, několik velikostí beztlakých temperačních přístrojů pro temperaci vstřikovacích forem, jednofázové a třífázové sací jednotky a sací jednotky „Venturi“ pro dopravu materiálu, systém pro centrální zásobování materiálem a řadu flexibilních spirálových dopravníků. V té době pracovalo ve společnosti A.M. spol. s r.o. 25 pracovníků a pro vysokou poptávku po těchto typech zařízení musela společnost kooperovat s mnoha libereckými firmami.

Společnost A.M. spol. s r.o. začala postupně navazovat spolupráci se zahraničními renomovanými výrobci v oboru periferních strojů a zařízení. Velmi dobrou spolupráci navázala se švédskou firmou Colorfeed, která se dlouhodobě specializovala na výrobu šnekových dávkovacích a barvicích jednotek. Významným mezníkem bylo navázání spolupráce s firmou Maguire Europe, evropskou centrálou renomovaného výrobce gravimetrických směšovacích strojů se sídlem v USA. V té době v České republice prakticky neznámý typ zařízení pro přesné směšování materiálů si získal velice rychle vysokou oblibu u výrobců vytlačovaných a vyfukovaných výrobků, jako jsou fólie, desky, pásy, trubky a kabely, ale i výrobců vstřikovaných dílů. Největšími odběrateli se staly společnosti jako Granitol, Juta, Peguform, Wavin a mnoho dalších. Společnost A.M. si

našla také odbyť svých vlastních výrobků v zahraničí. Prostřednictvím firmy Haacke & Prokoph dodala německým plastikářským firmám velké množství nožových mlýnů.

Velkým mezníkem se staly roky 2007 a 2008. Celosvětová finanční a hospodářská krize způsobila vysoký pokles investic zpracovatelů plastů, což významně ovlivnilo i společnost A.M. spol. s r.o. Společnost byla nucena zásadně omezit výrobu a velmi malá sériovost výrobků se stala ekonomicky neefektivní. Radikálně se snížil počet zaměstnanců a musely se hledat cesty, jak tuto situaci řešit. Řešením bylo převzetí zastoupení velkých zahraničních společností. Prvním krokem bylo zastoupení taiwanské společnosti Shini, která je jedním z největších světových výrobců periferních zařízení s prakticky kompletním sortimentem. Následovalo zastoupení společnosti Lorandi Silos, italského výrobce skladovacích sil a zařízení pro přetlakovou dopravu materiálu, MB Conveyors, italský výrobce pásových dopravníků a separátorů, zastoupení italské firmy Syncro Group, specialisty na výrobu komponent pro vyfukování fólií a gravimetrických směšovacích strojů všech typů materiálů v systému měření úbytku na váze. Poslední spolupráci navazuje A.M. se společností Vismec, italským specialistou na sušicí stroje a zařízení pro podtlakovou dopravu materiálu.



Obr. 2 – Zastoupení firem v ČR [vlastní]

V současné době pracuje ve společnosti 10 pracovníků, kteří zajišťují zákaznické projekty a kompletace strojů do větších technologických celků, vývoj a výrobu speciálních zařízení, servis a školení odběratelů.

2 Cíle práce

Cílem diplomové práce je inovace separátoru kovových částic pro plastikářské provozy. Tyto separátory se používají pro separaci přímo na vstřikovacím stroji / extruderu a jsou posledním článkem systému dopravy materiálu. V tomto případě musí separace proběhnout ve sloupci pomalu se pohybujícího materiálu. Tento úkol bude řešen pro firmu A.M. spol. s r.o., která je dodavatelem a výrobcem periferních zařízení pro plastikářské provozy. Důvodem inovace je zvýšení konkurenceschopnosti výrobku a rozšíření portfolia nabízených výrobků. Úkol vychází z požadavků zákazníků na tento druh výrobku.

Konstrukce separátoru musí brát ohled na strojní vybavenost firmy, kde bude separátor vyráběn. Životnost separátoru se uvažuje 5 roků při nepřetržitém provozu se 14 denní odstávkou (351 dní za rok). Separátor musí splňovat parametry viz tab. 1.

Tab. 1 – Parametry separátoru

Parametr výrobku	Hodnota	Jednotka
Velikost nejmenší detekované částice	1	[mm]
Výkon separátoru	280	[kg/hod]
Průchozí světlost	50	[mm]
Maximální velikost částice materiálu	10	[mm]
Maximální zástavbová výška	300	[mm]
Maximální teplota materiálu	100	[°C]
Maximální provozní teplota	60	[°C]

K návrhu požadovaného výrobku bude využito metod inovačního inženýrství. V první řadě dojde k sepsání inovačního záměru a z něho plynoucího inovačního prohlášení. Bude proveden průzkum trhu, který zahrne rozdělení separátorů kovových částic. Největší pozornost se zaměří na srovnatelné separátory pracující ve sloupci pomalu tekoucího materiálu, u kterých se provede průzkum konkurenčních separátorů s uvedením jejich nevýhod. Následovat by měl patentový průzkum, který poslouží k vyhledání možných principů separace kovových materiálů. Díky patentovému průzkumu bude možné využít znalostí z oblasti separování i z jiných oborů, než je jenom plastikářský průmysl. Pomocí matice QFD se určí parametry výrobku, které mají největší souvislost se zákaznickými potřebami a přibudou nové požadavky na zařízení.

Zjištěné informace, parametry a požadavky povedou k vypracování 4 inovačních návrhů neboli konceptů. U každého konceptu musí být popsán princip funkce doplněný o skicu, popřípadě zjednodušený 3D model. Následovat bude výběr nejvhodnější varianty. S výběrem varianty pomůže metoda AHP, určí nejlepší variantu, která je kompromisem pro všechny vybrané parametry, s ohledem na jejich váhu. Správnost provedení metody AHP musí být prověřena kontrolou konzistence dat.

Po výběru finální varianty bude možné přikročit k její detailní konstrukci. V první řadě se provede rozbor separačního děje, ze kterého vyplynou odpory a síly namáhající jednotlivé součásti. Po zjištění sil a namáhání bude možné přikročit k návrhu pohonu a součástí. Navrhované součásti musí splňovat požadavky bezpečnosti a životnosti.

Konstrukce separátoru bude podrobně rozebrána, popsány jednotlivé součásti a vysvětlen přesný princip funkce. Popis musí obsahovat potřebné obrázky konstrukce včetně řezů. Budou popsány problémy, které mohou nastat při konstrukci a jejich řešení. Konstrukce separátoru by měla být provedena s ohledem na DFX.

Diplomová práce musí také obsahovat ekonomické zhodnocení výrobku. Pro určení ceny výrobku je vhodné využít kalkulační analýzy, která nezahrnuje pouze cenu dílů, ale bude brát v potaz i ostatní náklady spojené s vývojem a distribucí výrobku. Posledním bodem diplomové práce musí být celkové zhodnocení inovačního procesu. V přílohách bude možné nalézt výkres sestavy včetně kusovníku a výkresů jednotlivých dílů pro výpočty.

2.1 Inovační záměr

Inovačním záměrem diplomové práce je návrh a konstrukce separátoru kovových částic pro plastikářské provozy. Tento separátor bude určen pro separaci ve sloupci pomalu tekoucího materiálu a bude umístěn přímo nad hrdlem plastikářského stroje. Separátor bude sloužit k ochraně drahých částí plastikářských strojů, jako jsou formy, šneky aj. Zařízení musí splňovat zadané parametry uvedené v cílech práce. Separátor musí pracovat plně automaticky a jeho návrh musí být proveden s ohledem na výrobní možnosti firmy A.M. spol. s r.o.

2.2 Inovační prohlášení

V inovačním prohlášení je inovace daného výrobku přeformulována do formy tabulky. Tato tabulka shrnuje informace o zařízení včetně jejich obchodních cílů a omezení v inovačním procesu (tab. 2).

Tab. 2 – Inovační prohlášení

Popis inovovaného výrobku (záměr)	Zařízení pro separaci kovových částic z pomalu pohybujícího se sloupce sypkého plastového materiálu přímo nad plastikářským stojem.
Klíčové obchodní cíle	Nabídka cenově dostupného separátoru pro plastikářské provozy na území ČR
Primární trh	Plastikářské provozy
Sekundární trh	Provozy pracující se sypkým materiálem
Předpoklady a omezení	Výrobní možnosti firmy A.M. spol. s r.o.
Účastníci inovačního procesu	Autor: David Klimenta Konzultant: Ing. Pavel Tuláček Vedoucí: prof. Ing. Ladislav Ševčík, CSc Ostatní: pracovníci firmy A.M. spol. s r.o.

3 Inovační příležitosti

3.1 Průzkum trhu

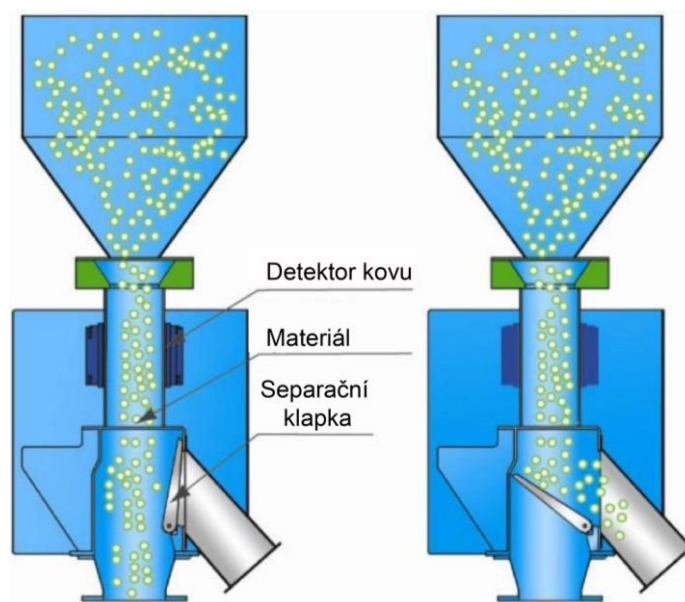
Separátory kovů v plastikářském průmyslu lze rozdělit do několika skupin:

- Separátory pro pásové dopravníky
- Separátory pro materiály ve volném pádu
- Separátory pro provoz v pomalu tekoucím sloupci materiálu

Separátory pro pásové dopravníky jsou speciální skupinou, kde separace probíhá přímo při dopravě materiálu na pásové dopravníku, těmito separátory se nebudu dále zabývat. Oblastí mého zájmu jsou separátory, které se používají v systémech centrální dopravy materiálu ke stroji, nejčastěji vstřikovacímu lisu, nebo extruderu.

3.1.1 Separátory pro materiály ve volném pádu

Separátory jsou využívány v systémech dopravující sypký materiál. Jejich určení není striktně omezeno pouze na plastikářský průmysl, ale jsou využívány i v ostatních odvětvích (např. potravinářském, chemickém aj). K separaci dochází během volného pádu materiálu. Funkce separátoru je zobrazena na obr. 3. Volně padající materiál prochází přes detektor kovových částic. V případě, že detektor kovovou částici nezaznamená, materiál volně propadává. Jestliže detektor zaznamená kovovou příměs, je část materiálu s příměsí odkloněna pomocí klapky do odpadového potrubí.



Obr. 3 – Separátory ve volném pádu [1]

Mezi nejčastější výrobce na trhu patří: Sensotec, Pulsotronic, Mesutronic, aj.

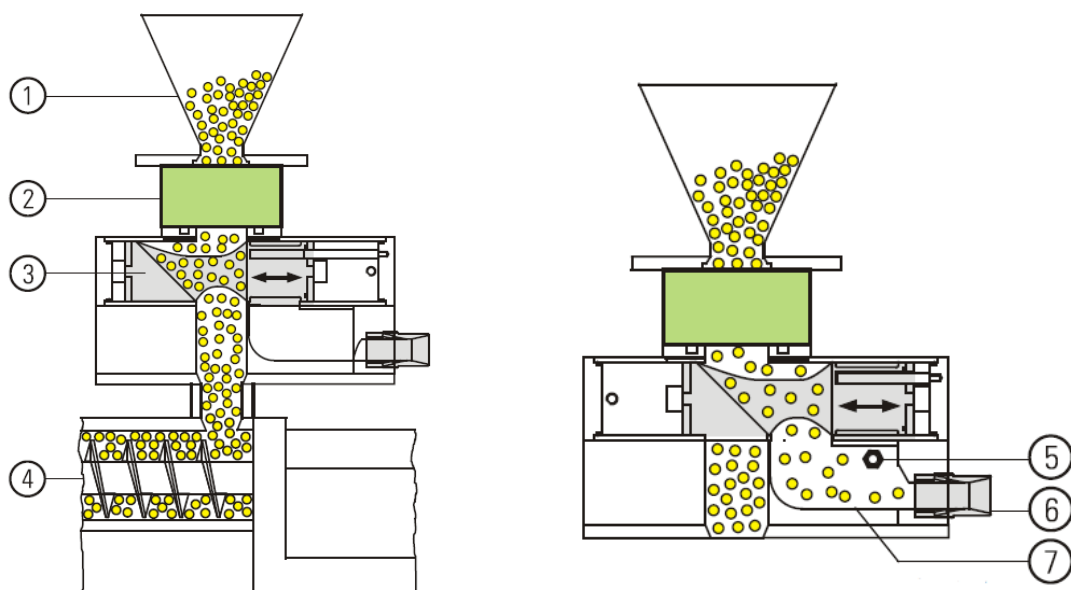
3.1.2 Separátory pro provoz v pomalu tekoucím sloupci materiálu

Jsou určeny výhradně pro plastikářský průmysl. Detekce a následná separace probíhá ve stojícím, nebo pomalu se pohybujícím proudu materiálu. Jejich umístění je přímo na hrdlo stroje. Navrhované varianty diplomové práce budou patřit mezi separátory pracující ve sloupci materiálu.

3.2 Konkurenční Separátory

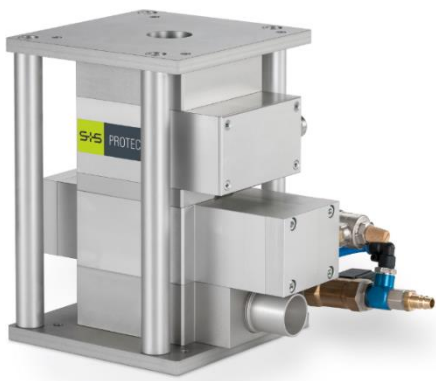
S+S Protector Primus

Na obr. 4. je zobrazen princip separátoru Protector od firmy Sensotec. Princip je obdobný separaci ve volném pádu. Nejprve prochází materiál přes detektor kovových částic. V případě, že je materiál čistý prochází do stroje. Pokud identifikuje kovovou částici separační výhybka, která je patentovaná firmou Sensotec, odkloní část kontaminovaného materiálu pryč. Odpadový materiál je následně odsán Venturiho trubicí [2].



Obr. 4 – Princip separátoru Protector Primus [2]

- 1) násypka 2) detekční cívka 3) separační jednotka 4) zpracovávající stroj
5) kontaminovaný materiál 6) Venturiho trubice 7) výstup kontaminovaného materiálu
[2]



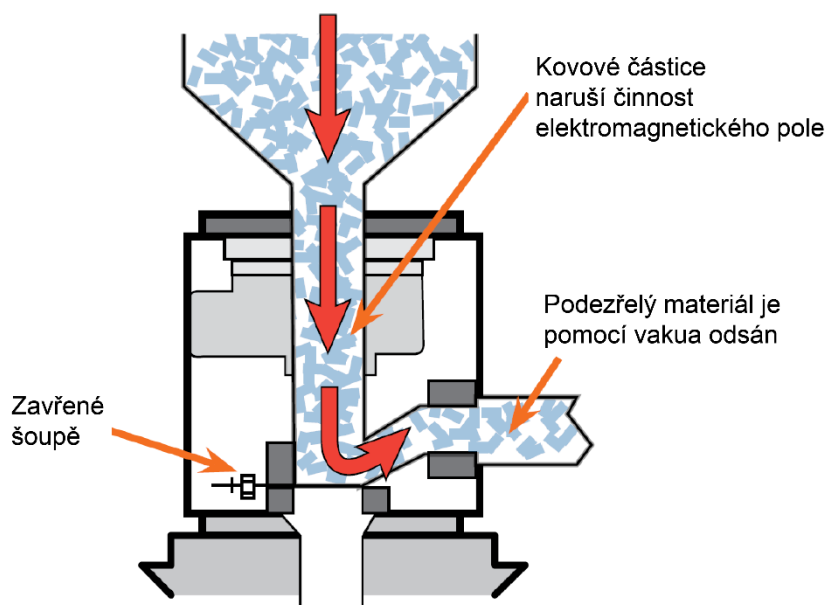
Nevýhody:

- hliníkové mechanické části, které mohou kontaminovat materiál a mají sníženou odolnost vůči abrazivním materiálům
- základní provedení umožňuje maximální teplotu materiálu do 80°C

Obr. 5 – Protector Primus [2]

Novatec EMS

Princip separátoru EMS je popsán na obr. 6



Obr. 6 – Princip separátoru EMS [3]

Separátor od firmy Novatec opět využívá pro identifikaci materiálu indukční čidlo. Po identifikaci kovové nečistoty je uzavřen tok materiálu šoupátkem. Následně je část kontaminovaného materiálu s odsána do odpadového kontejneru. Po odsání nečistoty se šoupě opět otevře a materiál pokračuje dále do stroje [3].

Nevýhody:

- velké množství odsátého materiálu
- dlouhé přerušení toku materiálu



Obr. 7 – Novatec EMS [3]

3.3 Patentový průzkum

Při generování konceptů inovovaného technického výrobku je vhodné využít nejen kreativního řešení, ale prohledat již známá řešení. Zdrojem informací je nejen odborná literatura a internet, ale i patenty a průmyslové vzory.

FOS (Function Oriented Search), neboli funkčně orientované vyhledávání je nástroj řešení problémů založený na identifikaci již existujících technologií při použití funkčních kritérií. Umožňuje vyhledat existující řešení i v jiných oborech. Tím dochází ke změně inovačního problému na adaptační problém. Adaptace spočívá ve využití již známého řešení z jiného oboru a jeho přizpůsobení na problém řešený[4].

Databáze vyhledávání:

- <http://www.epo.org/>
- <https://patents.google.com/>

Vyhledávané dotazy:

- separovat materiál - separate material
- přesměrovat materiál - divert material
- odstranit kov - remove metal
- přemístit částici - relocate particle

aj.

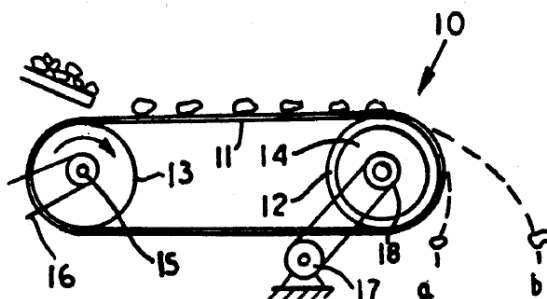
US005236091A

EDDY CURRENT SEPARATOR AND METHOD OF MAKING A ROTOR

Separátor využívá vířivých proudů vytvořených magnetickým rotorem. Rotor je tvořen množinou permanentních magnetů umístěných na vnějším obvodu rotoru, jednotlivé magnety, jsou od sebe odděleny uhlíkovými vlákny.. Rotor je poháněn samostatným rotačním pohonem. Kolem rotoru je valec, uložený nezávisle na rotoru, mezi nímž a hnacím válcem je napnut pás. Tím je umožněno, že pohon pásu a rotoru je nezávislý.

Je známo, že vystavením neželezných kovových částic s vysokou hustotou, rychle se měnícímu, magnetickému toku, vznikají vířivé proudy, které se indukují v částicích. Vířivé proudy produkují odpudivou magnetickou sílu, která je obecně úměrná odporu kovu jednotlivých částic. Tato odpudivá síla může způsobit, že příslušné částice jsou

odhazovány od pole v různých drahách, v závislosti na druhu kovu. Umístěním nádob do dané trajektorie daných kovů dochází k jejich separaci. Částice s vysokou hustotou magnetického toku budou létat do větší vzdálenosti. Nevodivé materiály nebude pole ovlivňovat [5].



Obr. 8 – Separátor využívající vířivých proudů [5]

US007973258B2

HIGH-TENSION ELECTROSTATIC SEPARATOR LIFTING ELECTRODE

Jedná se o vysokonapěťový elektrostatický separátor, který se používá pro oddělení částic v proudu hmoty. Umožňuje rozdělení částic s různou elektrickou vodivostí, látky mají schopnost různě rychle nabývat nebo ztrácet elektrický náboj. Využívá vysokého napětí okolo 30 kV, které pomocí ionizační elektrody generuje elektrický výboj a tím ionizuje vzduch. Ionty působí na materiál procházející přes uzeměný buben. U materiálů s nízkou elektrickou vodivostí se nabíjí a jsou přitahovány k bubnu. Naopak materiály s vyšší elektrickou vodivostí ztrácí náboj rychle a jsou pomocí odstředivé síly odhazovány z bubnu, přičemž na ně působí také zdvihací elektroda, která zvyšuje účinnost [6].

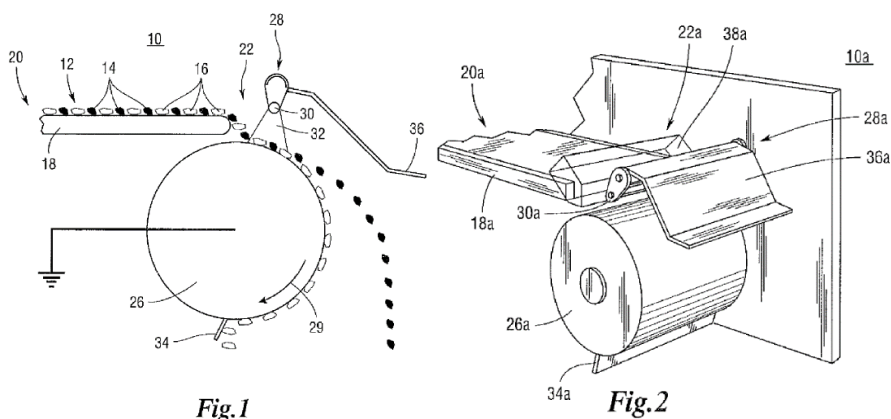


Fig.1

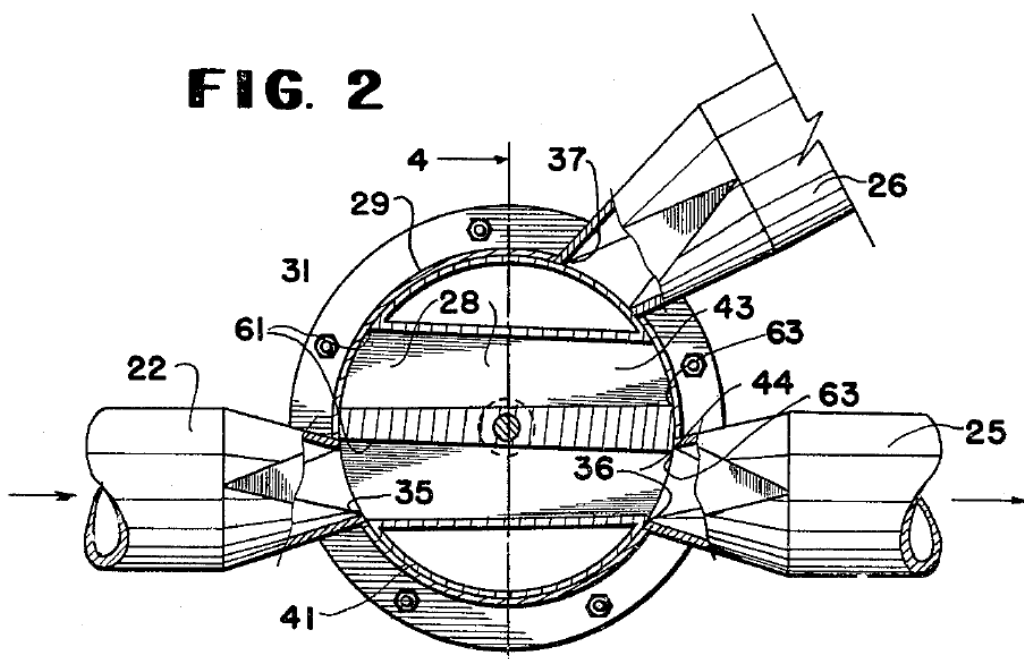
Fig.2

Obr. 9 – Vysokonapěťový elektrostatický separátor [6]

Diverter valve

Tento patent se zabývá přesměrováním vstupního materiálu do většího počtu výstupů s minimálním otáčením ventilového členu. Konkrétně se jedná o selektivně otočný ventilový člen, který umožňuje přesměrovávat tok materiálu ze zavřené polohy do jedné ze dvou vypouštěcích cest.

Přepínací ventil je složen z pouzdra ventilu, na které je připojeno jedno potrubí vstupní a dvě potrubí výstupní. Dalším prvkem je otočný člen na hřídeli s dvojicí dopravních otvorů kolmých na osu otáčení. Dvojice otvorů má mírně se zbíhající kuželové stěny zkosené od vstupních konců k výstupním. V první poloze je prostřednictvím prvního dopravního otvoru propojen vstup s prvním výstupem. Ve druhé poloze je prostřednictvím druhého potrubí propojen vstup s druhým výstupem. Pomocí ventilu lze měnit směr toku materiálu kontinuálně bez možnosti zaseknutí materiálu při otáčení ventilu [7].



Obr. 10 – Přepínací ventil [7]

4 Specifikace uživatelských a zákaznických potřeb

4.1 Matice QFD

Metoda QFD je strukturovaná metoda, která využívá tzv. 7 manažerských nástrojů plánování jakosti pro identifikaci zákaznických potřeb a následnou transformaci potřeb v charakteristiky (parametry) inovovaného produktu. Název vychází z japonského názvu, jednotlivé znaky QFD znamenají:

Q – quality (jakost)

F – function (funkce)

D – deployment (rozpracování)

Jedná se o plánovací nástroj, pomocí kterého se zajišťuje, že „hlas zákazníka“ (Voice of Customers, VOC) ovlivní výrobek již ve fázi návrhu a plánování produktu. Jedná se o důkladnou analýzu potřeb zákazníka, které ovlivňují všechny fáze výrobku od vývoje a konstrukce až po servis. QFD se zaměřuje na nejdůležitější kvalitativní znaky, které musí být vylepšeny. Metoda využívá korelačních matic. Na svislé ose je „co“ chceme dosáhnout – tedy požadavky zákazníka a na vodorovné ose pak „jak“ toho chceme dosáhnout – parametry výrobku.[8].

4.2 Aplikace matice QFD

Postup

Prvním krokem bylo zjištění potřeb zákazníka, tedy VOC (Voice of Customers). Tyto potřeby byly zjištěny z rozhovorů se zaměstnanci jednotlivých firem. Jednalo se například o vedoucí výroby, nebo technology. Jednotlivé požadavky byly přetransformovány do technických pojmů a dále rozpracovány. Z hlasu zákazníka byl vypracován seznam 24 požadavků. Z tohoto seznamu byli vybrány nejdůležitější požadavky, které tvoří řádky matice QFD.

Dále byla provedena specifikace parametrů produktu. Mezi parametry byly zařazeny parametry zadané, které s dalšími přidanými tvoří seznam 20 parametrů včetně jejich jednotek. Pro matici QFD bylo vybráno 15 nejdůležitějších a ty tvoří sloupce matice.

Následně bylo možné přejít k vytvoření matice QFD. Do levé části byl vyplněn hlas zákazníka. Horní řádky obsahují parametry výrobku. V matici se určuje jejich vzájemná závislost – korelace. Závislost je dána symboly, pokud není v políčku žádný symbol, nevyskytuje se žádná závislost, jinak je jejich závislost následující:

- malá korelace – 1 bod
- střední korelace – 3body
- ⊙ silná korelace – 9 bodů

Střechu domu jakosti tvoří korelace mezi jednotlivými parametry: - slabá záporná, -- silná záporná, + slabá kladná a ++ silná kladná. Z této trojúhelníkové matice lze vyčíst závislost jednotlivých parametrů mezi sebou.

Na závěr se provedlo hodnocení parametrů, které vychází z hlavní matice domu jakosti. Byla vypočítána absolutní významnost i významnost relativní, tedy v %. Čím je vyšší významnost, tím více parametr zahrnuje hlas zákazníka. Nejvýznamnější parametry jsou zobrazeny v tab. 3. Byl určen směr zlepšování parametru a navrhnutá jeho optimální cílová hodnota.

Z matice QFD vychází parametry, které mají největší souvislost se zákaznickými potřebami, mezi tyto parametry patří:

- velikost nejmenší detekované částice
- množství odstraněného materiálu
- rychlost odstranění částice
- výkon separátoru
- průchozí světlost
- automatizované řízení

Na tyto parametry bude při konstrukci separátoru kladen důraz. U všech parametrů byla navržena hodnota.

Tab. 3 – Matice QFD [vlastní]

		<div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div><div></div></div>															
--	--	---	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

5 Generování konceptů

Koncept je přibližný popis technologie, tvarů a funkčních principů inovovaného výrobku. Má podobu skici, či jednoduchého 3D modelu včetně popisu[8].

Ze získaných informací bylo navrženo několik konceptů. Z návrhů byly vybrány čtyři koncepty, které využívají odlišného principu. Ve skicách konceptů jsou znázorněny částice materiálů dle následujícího zobrazení:



Plastové částice



Neželezné kovové částice



Feromagnetické částice

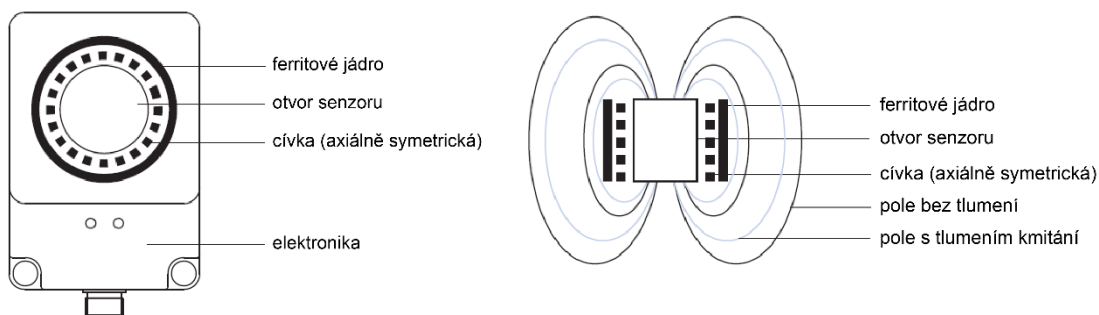
5.1 Koncept A

Indukční snímání

Princip indukčního snímače

Ve snímací dutině snímače je vytvořeno homogenní střídavé elektromagnetické pole, které je vytvářeno přesně axiálně symetricky provedenou cívkou. Cívka je umístěna v pouzdře a obklopuje snímací dutinu. Spolu s paralelně připojenými kondenzátory vytváří paralelní rezonanční obvod vysílače naladěný na frekvenci střídavého vysokofrekvenčního signálu, který je napájen z vnitřního generátoru snímače. Pouzdro dutiny a feritové jádro koncentruje siločáry pole do středu dutiny. Další cívky okolo dutiny slouží jako přijímač naladěný na frekvenci vysílače.

V kovové částici procházející dutinou se díky elektromagnetickému poli generují vířivé proudy, které odebírají energii pole, vznikají tzv. ztráty vířivými proudy a dochází k tlumení rezonančního obvodu. Tím dojde ke změně okamžité úrovně napětí generovaného na cívce přijímače[9].



Obr. 11 – Princip indukčního snímače [9]

Výběr indukčního čidla

V této části bude proveden výběr vhodného indukčního snímače. Pro danou aplikaci bude nejvhodnějším typem kruhový průchozí snímač neboli ring senzor. Proud materiálu bude procházet dutinou snímače a v případě detekce kovového předmětu vyšle signál ovládající materiálovou výhybku.

Požadované parametry:

Tab. 2 – Požadované parametry čidla

Průchozí rozměr snímače	< 60 mm
Citlivost snímače feromagnetické kovy	> 1mm
Citlivost snímače neželezné kovy	> 1mm

Jako dodavatel senzoru; byla vybrána firma Pulsotronic, která patří mezi největší dodavatele senzorové techniky a elektrických komponentů pro automatizaci a automobilový průmysl. Částice procházející snímačem mohou být buď kovové, pak snímač hlídá jejich celistvost, obsah správného množství kovu či počítá počet prošlých předmětů, nebo zcela nekovové a pak snímač naopak hlídá přítomnost kovu jako nežádoucího prvku v jeho obsahu či struktuře.

Kritéria pro výběr snímače:

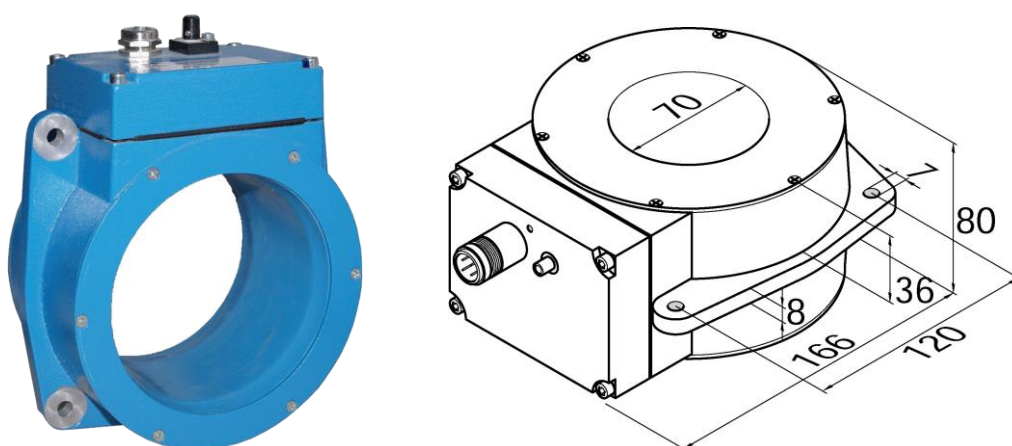
- Rozměry průchozí dutiny
 - Průměr průchozí dutiny, která je tvořená zapouzdřenými závity snímací cívky. Procházející materiál nesmí přijít do styku s vnitřními stěnami čidla, proto je vhodné použít nekovové potrubí. Při návrhu průměru průchozí dutiny, musí být uvažováno, že výsledná průchozí světlost bude dána vnitřním průměrem potrubí. S rostoucími rozměry průchozí dutiny roste i velikost částice, kterou je snímač schopen detekovat.

- Funkční princip
 - Statické (Static)
 - Dynamické (Dynamic)

Statické a dynamické provedení se pak prakticky liší v tom, zda se detekovaný kov musí pohybovat či nikoliv.

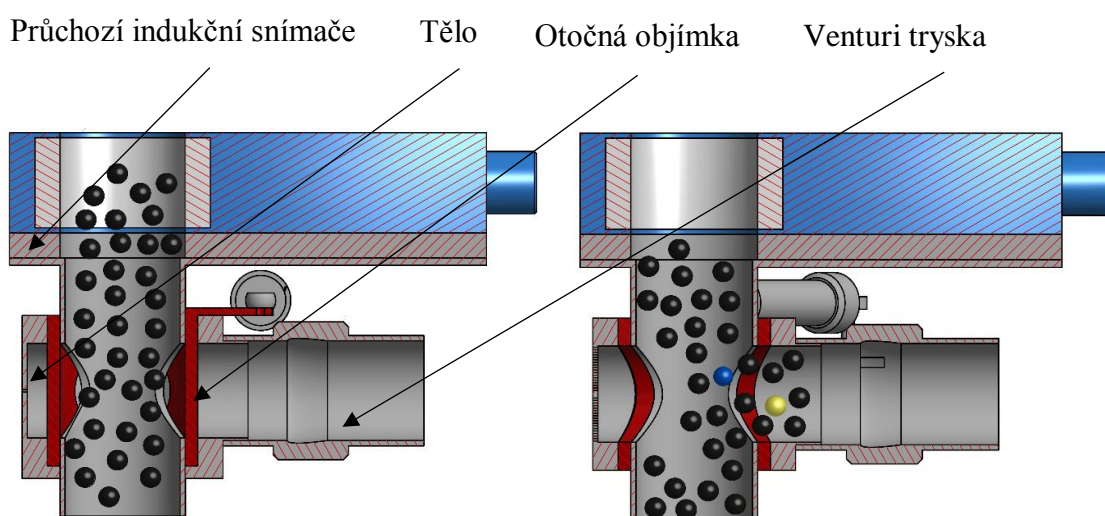
- Analogové (Analog) [9]

Vhodnost senzoru byla prodiskutována s firmou Pulsotronic na veletrhu K-Messe v Duesseldorfu. Jako nejvhodnější typ byl zvolen snímač KJR-D70AN-DNIA-VE, který je zobrazen na obr 12., který bude doplněn řídicí jednotku pro průchozí snímače.



Obr. 12 – Indukční snímač KJR-D70AN-DNIA-VE [10]

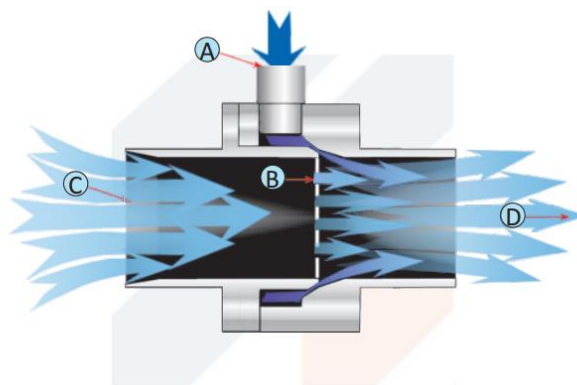
5.1.1 Použitý princip:



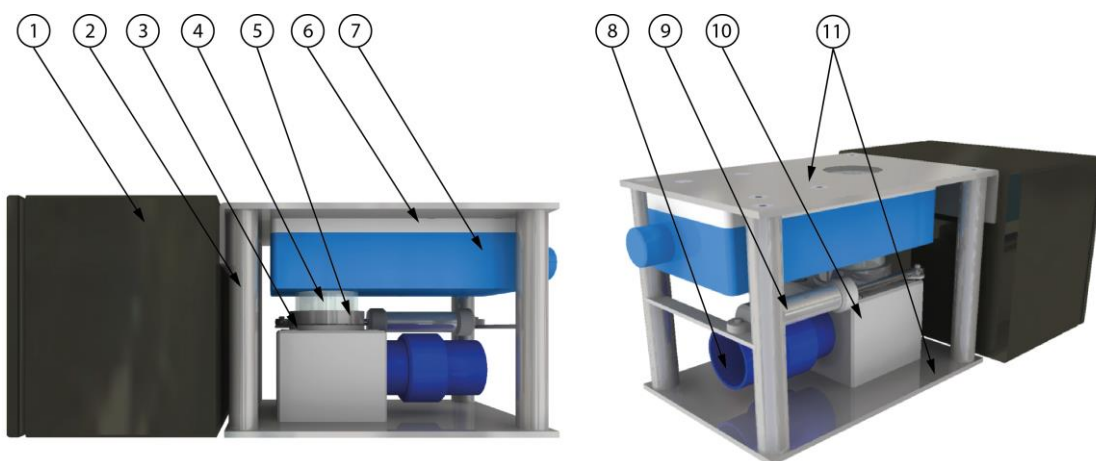
Obr. 13 – Koncept A použitý princip [vlastní]

Pneumatická varianta využívá indukčního čidla pro detekci kovových částic. Kontaminovaná část materiálu je pak odsáta pomocí pneumatického dopravního systému, využívajícího venturi efektu. Tyto systémy využívají stlačeného vzduchu a pro vysoký účinek venturi efektu jsou schopné přepravovat materiál na dlouhé vzdálenosti vysokou rychlostí.

Stlačený vzduch vstupuje v bodě (A) do prstencové přetlakové komory a je vtlačován do hrdla jednotky skrz řízené trysky. Tyto proudy stlačeného vzduchu strhávají proud vzduchu na vstupu (C) a ten slouží jako nosné medium pro dopravu materiálu [11].



Obr. 14 – Princip venturi tryska [11]



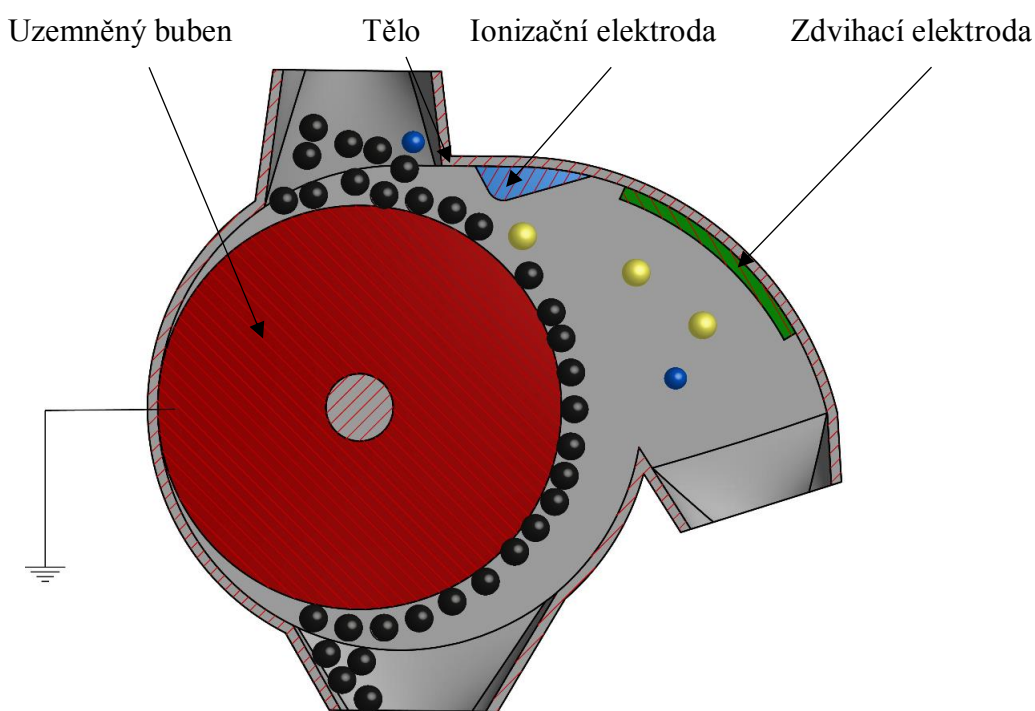
Obr. 15 – Koncept A [vlastní]

1 – ovládání, 2 – vzpěry, 3 – otočná objímka, 4 – skleněná trubka, 5 – vnitřní trubka, 6 – plastová podložka, 7 – indukční snímač, 8 – pneumatický dopravní systém, 9 – pneumatický válec, 10 – tělo, 11 – příruby

5.1.2 Popis činnosti

Materiál vstupuje skrz horní přírubu do skleněné trubky, kolem skleněné trubky je indukční senzor. V případě průchodu kovové částice senzor vyšle impuls, ve stanovené časové prodlevě dojde k sepnutí elektromagnetického ventilu, který ovládá přívod vzduchu pro venturi trysku. Následně dochází k otočení objímky pomocí pneumatického válce. Objímka otevře boční vývod a část kontaminovaného materiálu je pomocí podtlaku odsáta. Po odsátí určitého objemu s kontaminovaného materiálu objímka uzavře boční vývod a čistý materiál pokračuje ve vertikálním směru. Ovládání je uloženo v rozvaděči, který obsahuje ovládací PLC, elektromagnetické ventily pro ovládání stlačeného vzduchu a další prvky.

5.2 Koncept B



Obr. 16 – Koncept B použitý princip [vlastní]

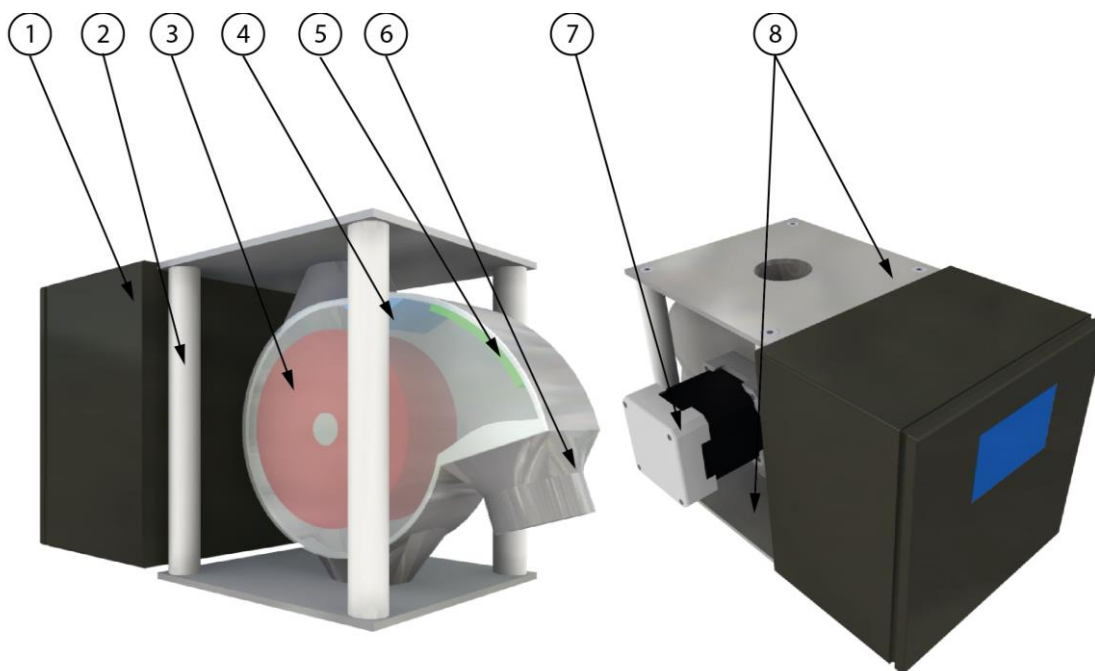
Elektrostatická separace

Elektrostatická separace se používá pro sypké materiály. Této techniky se využívá hlavně pro suchou separaci malých částic, které mají velký rozdíl elektrické vodivosti. Základ elektrostatické separace tvoří Coulombův zákon, který popisuje síly, které působí mezi elektricky nabitými částicemi. Při separaci dochází k nabití částic a následné změně

dráhy jednotlivých částic. Změna dráhy je uskutečněna dalšími silami, které působí na separovaný materiál [12].

Role-type (Bubnový separátor)

Vysoké napětí cca 30 kV je přivedeno na ionizační elektrodu, ta vytváří elektrický výboj (označovaný jako korón), při kterém dochází k ionizaci vzduchu. Vytvořené ionty a elektrony dopadají na proud materiálu přecházející přes uzemněný rotující bubnu. Dochází k nabití částic materiálu v závislosti na polaritě ionizační elektrody a uzemněného rotujícího bubnu. U elektricky nabitých částic vzniká elektrostatické silové působení. Částice s vyšší elektrickou vodivostí ztrácí náboj rychleji, než částice s nižší elektrickou vodivostí. Elektricky vodivé částice tedy odlétávají z důvodů působení odstředivé síly rotujícího bubnu. Zdvihací elektroda zvyšuje účinnost separace, vytváří elektrické pole, které v částicích indukuje nový elektrický náboj. Dohází k přitahování částic odlétávajících z rotujícího bubnu a jejich odchýlení od klesající dráhy [12].



Obr. 17 – Koncept B [vlastní]

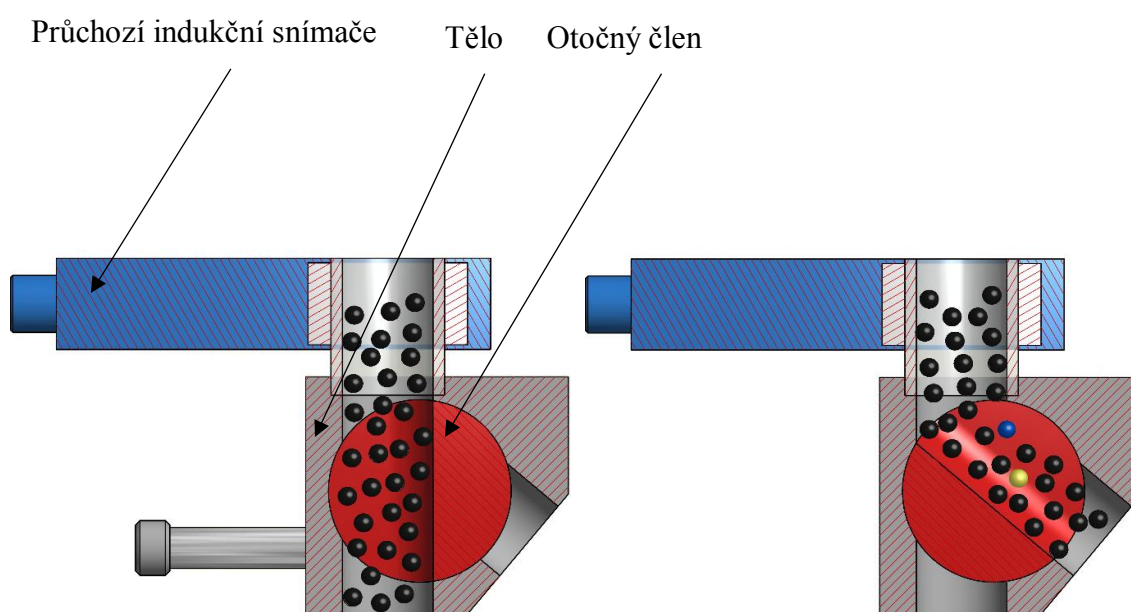
1 – ovládání, 2 – vzpěry, 3 – uzemněný rotační válec, 4 – ionizační elektroda, 5 - zdvihací elektroda, 6 – tělo, 7 – indukční snímač, 8 – příruby

5.2.1 Popis činnosti

Tato varianta využívá výše popsaného principu elektrostatických sil vzniklých vysokým napětím. Materiál vstupuje přes horní přírubu do těla separátoru, které obsahuje rotující buben. Ionizační elektroda nabíjí materiál na rotujícím bubnu, materiál s vysokou elektrickou vodivostí (kovové částice) ztrácí náboj rychleji a odstředivou silou odlétávají od bubnu. Zdvihační elektroda tyto částice znovu nabíjí a přitahuje je směrem od rotujícího bubnu. Kovové částice dále pokračují vyústěním na boku těla separátoru. Materiály s nižší elektrickou vodivostí (nekovové materiály) jsou elektrostatickou silou přitahovány k bubnu, tato síla je větší než síla odstředivá. Částice tedy zůstávají na bubnu a ve spodní části těla separátoru dochází k jejich setření a částice propadávají přírubou ve spodní části. Rotační buben je poháněn elektromotorem. Koncept musí obsahovat rozvaděč s vysokonapětovým zdrojem pro napájení elektrod a prvky pro řízení separačního procesu.

5.3 Koncept C

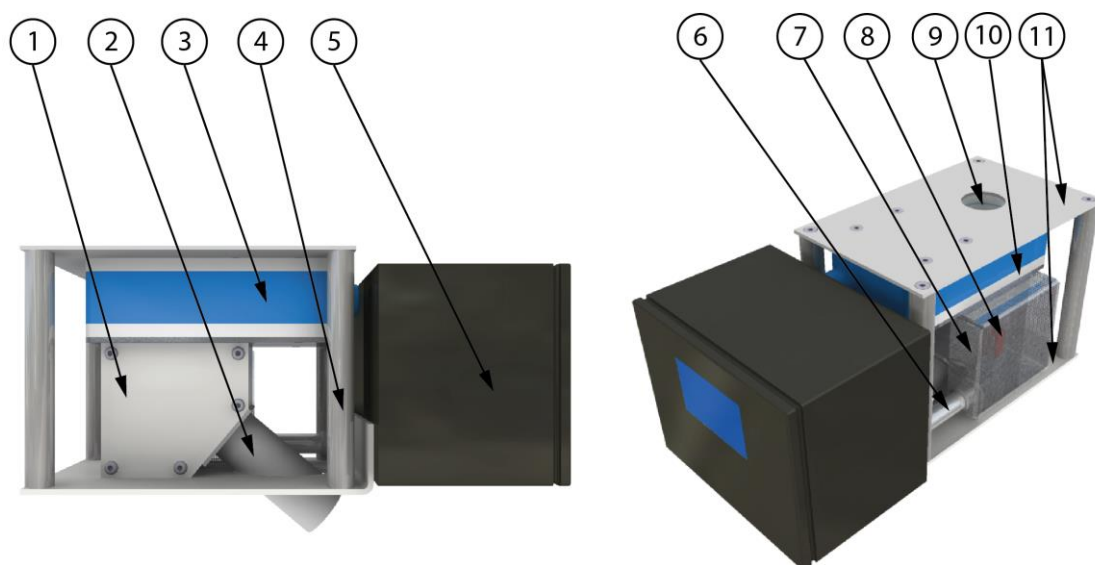
5.3.1 Použitý princip:



Obr. 18 – Koncept c použitý princip [vlastní]

Tato varianta opět využívá k identifikaci kovové částice indukční snímač. Po identifikaci kovové částice dojde k odklonění toku materiálu pomocí otočného vyhazovacího mechanismu. Ten využívá principu rotačního přepínacího materiálového ventilu (dvoucestného přepínacího ventilu). Ten se skládá z kovového disku, který se

otáčí kolem své osy, v disku je radiální díra pro průchod materiálu. Otočný disk se pomocí pneumatického či elektrického pohonu otáčí o daný úhel a tím dochází k natočení díry disku vůči statické části. Statická část má tři otvory, jeden otvor je vstupní a dva otvory výstupní, mezi výstupními otvory dochází k přepínání toku materiálu.



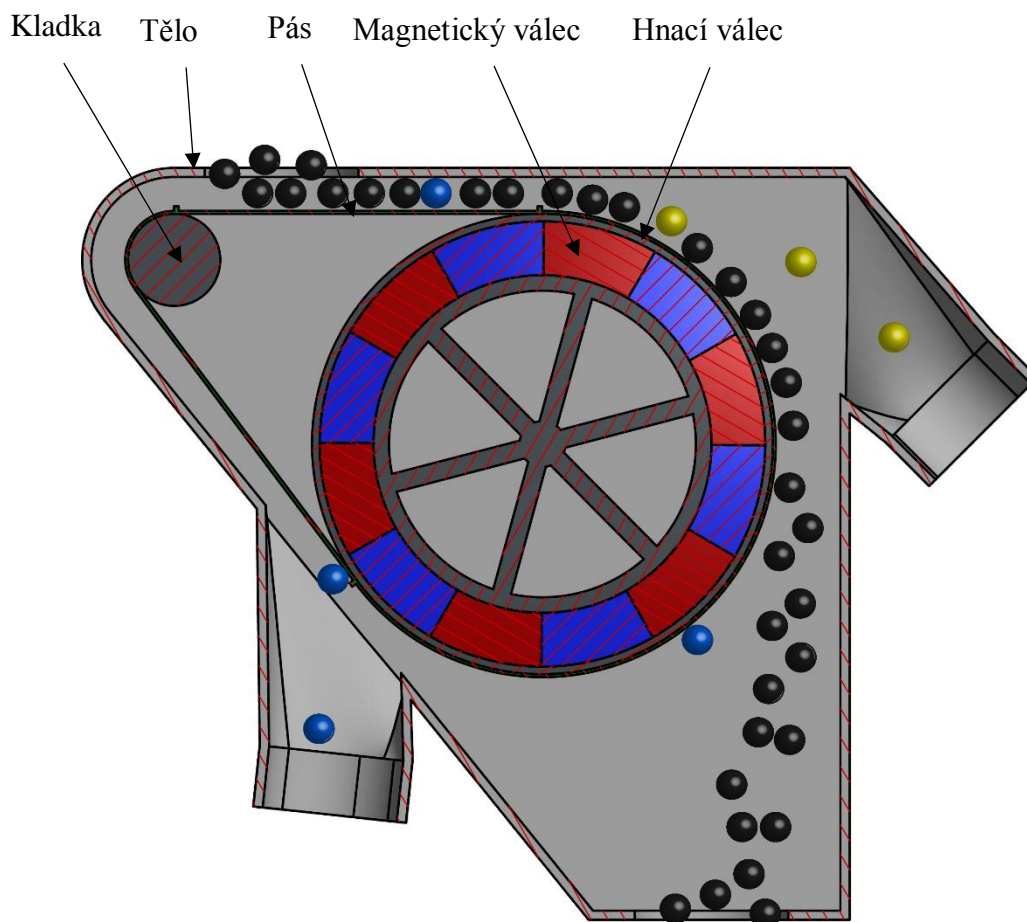
Obr. 19 – Koncept C použitý princip [vlastní]

1 – otočný vyhazovací mechanismus, 2 – boční příruba, 3 – indukční snímač, 4 – vzpěry, 5 – ovládání, 6 – pneumatický válec, 7 – ochranný kryt, 8 – otáčecí mechanismus, 9 – skleněná trubka, 10 – plastová podložka, 11 – příruby

5.3.2 Popis činnosti

Materiál vstupuje do zařízení přes horní přírubu, která slouží k připevnění k předchozímu zařízení. Za přírubou následuje skleněná trubka. Průchod materiálu trubkou kontroluje indukční snímač. V případě zaznamenání kovové částice snímačem dojde k vyslání impulsu. V ovládání stroje, které je uloženo v rozvaděči, dojde k otevření vzduchového ovládacího ventilu a tím k vysunutí pneumatického válce. Otočný mechanismus transformuje přímočarý pohyb na rotační a otáčí vyhazovacím mechanismem. Ten odkloní směr toku materiálu a materiál s kovovou částicí je odkloněn bočním výstupem. Po předem daném čase dojde k otočení mechanismu do původní polohy a čistý materiál pokračuje spodní přírubou do stroje.

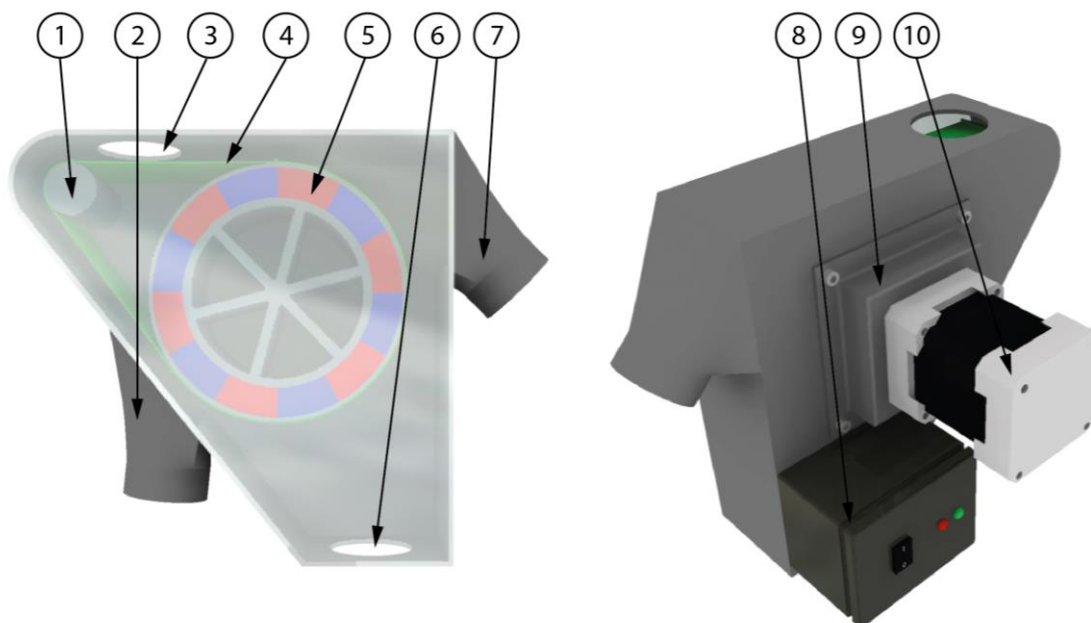
5.4 Koncept D



Obr. 20 – Koncept D použitý princip [vlastní]

5.4.1 Použitý princip:

Čtvrtý koncept je inspirován separátory kovů na pásových dopravnících. Tyto separátory využívají vlastností vířivých proudů. Vířivé proudy působí odlišně na materiály s různou elektrickou vodivostí např. kovy a nekovové částice. Základem je rotující magneticky indukční válec, který má velký počet střídajících se pólů a rotací vytváří rychle se měnící magnetické pole. V kovových předmětech nacházejících se v tomto poli vznikají vířivé proudy, ty působí proti změně, která je vyvolala. Kovové částice neželezných kovů jsou odpuzovány od rotoru. Materiály s nízkou elektrickou vodivostí, v tomto případě se bude jednat o plasty, nejsou magnetickým polem rotoru ovlivňovány a padají vlivem gravitace dolů. Feromagnetické částice přitahuje magnetické pole válce [13].



Obr. 21 – Koncept D použitý princip [vlastní]

1 – vodící kladka, 2 – výstupní příruba (feromagnetické mat.), 3 – vstupní příruba, 4 – pás s příčkami, 5 – magnetický indukční válec, 6 – výstupní příruba (plastový mat.), 7 – výstupní příruba (kovové neželezné mat.), 8 – elektrické ovládání, 9 – převodové ústrojí, 10 – elektromotor,

5.4.2 Popis činnosti

Materiál prochází vstupní přírubou a dopadá na pomalu rotující pás s příčkami. Pomocí pásu je dopravován k rotujícímu magneticky indukčnímu válci. Magnetické pole vytvořené válcem působí na částice. Neželezné materiály jsou od válce odpuzovány a odlétají do příruby na boku separátoru. Částice plastu se dostanou na okraj válce a volně odpadávají do spodní příruby, kde následně pokračují k dalšímu zpracování. Kovové – feromagnetické částice jsou přitahovány k magnetickému bubnu a pomocí příček pásu jsou posouvány. Ve chvíli, kdy se dostanou za buben, magnetická síla se zeslabuje a jsou pomocí síly gravitační směřovány do třetí příruby. Odlišností této varianty od předchozích je, že navíc třídí i železné materiály od neželezných, má tedy tři výstupy.

6 Výběr konceptu

6.1 Parametry

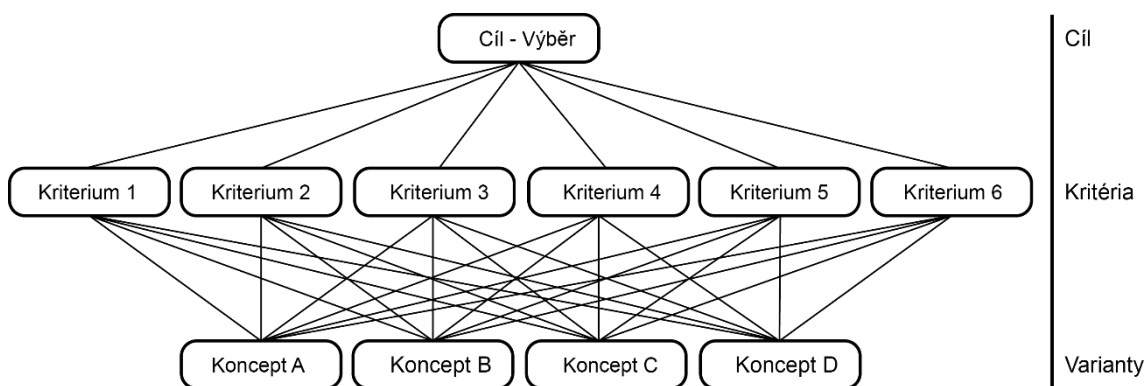
- **Min. velikost částic** – udává minimální velikost kovové částice, kterou je separátor schopen zachytit a vyloučit
- **Množství odstraněného materiálu** – jedná se množství plastového materiálu, který je při separaci zbytečně vyloučen
- **Rychlost odstranění částice** – doba přerušení toku materiálu
- **Max. dovolená teplota částic** – udává maximální teplotu vstupního materiálu, aby nedocházelo k poškození částí separátoru
- **Max. zástavbová výška** – jedná se o výšku zařízení, která je důležitá pro výšku celkové sestavy nad strojem
- **Jednoduchost konstrukce** – počet dílů a jejich náročnost na výrobu, hodnotí i náročnost na speciální díly jejich materiály
- **Pořizovací cena** – údaj o sumě cen jednotlivých komponent, ceny výroby jednotlivých dílů a sestavení celkové sestavy
- **Životnost** – zahrnuje životnost celkové zařízení i jednotlivých komponent, u kterých dochází k opotřebení (předpokládaná doba funkčnosti)
- **Samočinnost** – parametr funkce stroje, který hodnotí nutnost zásahu obsluhy v průběhu jeho funkce
- **Snadná údržba** – nároky na údržbu, například čištění, mazání a výměnu opotřebovaných součástí
- **Informace o množství vyloučených částic** – možnost podání informace o množství vyloučených kovových částic, ze kterého lze určit kvalitu materiálu vstupujícího do stroje
- **Maximální průtok** – parametr, který udává maximální množství materiálu, které je zařízením schopno projít za jednotku času
- **Kontinuálnost** – informace o tom zda materiál protéká zařízením kontinuálně, či dochází k přerušení toku materiálu
- **Univerzálnost** – použitelnost pro různé druhy materiálu
- **Spolehlivost** – spolehlivost zařízení v odstranění částice a funkčnosti

6.2 Analytic hierarchy proces (AHP)

Analytic hierarchy proces (AHP) byl zaveden Thomasem Saatym (1980). Jedná se o účinný nástroj zabývající se komplexním rozhodováním, pomáhá při stanovení priorit a umožňuje učinit nejlepší rozhodnutí. Snižuje nutnost komplexního rozhodování tak, že nejdříve je provedeno párového srovnání a až poté dochází k syntéze výsledků. AHP umožňuje zachytit jak subjektivní, tak objektivní aspekty rozhodnutí. Díky kontrole konzistence dat se snižuje zkreslení při procesu rozhodování.

Jedná se o vícekritériální hodnocení jednotlivých variant. Hledá se taková varianta, která je optimálním kompromisem pro všechna kritéria viz obr. 22. Nejdříve se daný problém roztřídí do dané hierarchie a jednotlivá řešení jsou hodnocena samostatně. Metoda AHP vytváří vztah mezi všemi kritérii a všemi variantami (koncepty). V maticích je provedeno párové srovnání nejprve jednotlivých kritérií a jednotlivých variant v daném kritériu. Čím vyšší je hodnota, tím důležitější je odpovídající kritérium [14].

Po určení všech hodnot významnosti jsou určeny eigenvectory pro všechny matice, které jsou vypočítány vícenásobnou iterací do té doby, než je rozdíl výsledků mezi jednotlivými kroky minimální. Z vektorů je vytvořena matice eigenvectorů, jejíž vynásobením eigenvectorem kritérií dostaneme výsledný vektor. Nejvyšší hodnota výsledného vektoru náleží nejlépe hodnocené variantě – konceptu.



Obr. 22 – Analytic hierarchy proces (AHP) [vlastní]

Kritéria:

1. Min. velikost částic
2. Množství odstraněného materiálu
3. Rychlost odstranění částice
4. Jednoduchost konstrukce
5. Spolehlivost
6. Max. zástavbová výška

Koncepty:

- A. Koncept s indukčním čidlem podtlakově odsávaný
- B. Koncept vysokonapětového elektrostatického separátoru
- C. Koncept s indukčním čidlem a otočným mechanickým vyhazovačem
- D. Koncept s vířivými proudy

Kritéria

Tab. 3 – Kritéria

	K 1	K 2	K 3	K 4	K 5	K 6
K 1	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	4,00
K 2	1,00	1,00	3,00	2,00	2,00	3,00
K 3	0,33	0,33	1,00	0,50	0,50	2,00
K 4	0,33	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00
K 5	0,50	0,50	2,00	1,00	1,00	2,00
K 6	0,25	0,33	0,50	0,50	0,50	1,00

Min. velikost částic

Tab. 4 – Min. velikost částic

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	3,00	1,00	4,00
Koncept B	0,33	1,00	0,33	2,00
Koncept C	1,00	3,00	1,00	4,00
Koncept D	1,00	0,50	0,25	1,00

Množství odstraněného materiálu

Tab. 5 – Množství odstraněného materiálu

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	0,10	0,33	0,10
Koncept B	10,00	1,00	3,00	1,00
Koncept C	3,00	0,33	1,00	0,33
Koncept D	3,00	1,00	3,00	1,00

Rychlost odstranění částice

Tab. 6 – Rychlost odstranění částice

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	0,20	0,33	0,20
Koncept B	5,00	1,00	2,00	1,00
Koncept C	3,00	0,50	1,00	0,50
Koncept D	3,00	1,00	2,00	1,00

Jednoduchost konstrukce

Tab. 7 – Jednoduchost konstrukce

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	4,00	1,00	3,00
Koncept B	0,25	1,00	0,25	0,50
Koncept C	1,00	4,00	1,00	4,00
Koncept D	1,00	2,00	0,25	1,00

Spolehlivost

Tab. 8 – Spolehlivost

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	2,00	0,50	3,00
Koncept B	0,50	1,00	0,25	0,50
Koncept C	2,00	4,00	1,00	6,00
Koncept D	0,33	2,00	0,17	1,00

Max. zástavbová výška

Tab. 9 – Max. zástavbová výška

	Koncept A	Koncept B	Koncept C	Koncept D
Koncept A	1,00	4,00	1,00	4,00
Koncept B	0,25	1,00	0,25	1,00
Koncept C	1,00	4,00	1,00	4,00
Koncept D	1,00	1,00	0,25	1,00

Výsledná matice

Tab. 10 – Výsledná matice

	K1	K2	K3	K4	K5	K6
A	0,384927	0,042267	0,070429	0,375484	0,259871	0,384924
B	0,142793	0,411667	0,36829	0,085783	0,101263	0,142789
C	0,384927	0,133389	0,192992	0,407837	0,519743	0,384935
D	0,087353	0,412677	0,36829	0,130896	0,119123	0,087352

⊗	Kritéria	≡	Koncept A	0,249331
	0,26935		Koncept B	0,219155
	0,256572		Koncept C	0,325145
	0,090859		Koncept D	0,206369
	0,125617			
	0,143276			
	0,114327			

Z výsledků analýzy AHP vychází nejlépe koncept C, neboli koncept s indukčním čidlem a otočným mechanickým vyhazovačem. Hodnota vítězné varianty je 0,325 a z výsledků AHP vychází, že je o 0,076 lepší než varianta druhá, kterou je koncept A. Výpočty byly provedeny v programu MS Excel a jsou součástí příloh.

Pro kontrolu správnosti byla provedena kontrola konzistence dat. K výpočtům bylo využito programu Matlab.

Pro jistění konzistence dat je nutné vypočítat konzistenční index CI pro každou matici.

$$CI = \frac{x - k}{k - 1} \quad (1)$$

X je eigenvalue, nebo také vlastní číslo matice. Tyto hodnoty byly vypočítány pomocí softwaru Matlab. Prvním krokem bylo importování matic kritérií z Exelu. Po naimportování se objevili v záložce workspace jako proměnné, každá je pojmenovaná dle tabulky např. kritéria, jednoduchost_konstrukce, aj., viz obr. 23. Poté byl napsán skript pro výpočet vlastních čísel matic obr. 23. Výsledek výpočtu je zobrazen na obr. 24 v okně command window, kde jsou pod označením X1 – X7.

Workspace				konzistence.m* x	
Name	Value	Min	Max		
jednoduchost_ko...	<4x4 double>	0.2500	4	1	
kriteria	<6x6 double>	0.2500	4	2	X1=max(eig(kriteria))
max_zastavbova_v...	<4x4 double>	0.2500	4	3	X2=max(eig(min_velikost_castic))
min_velikost_castic	<4x4 double>	0.2500	4	4	X3=max(eig(mnozstvi_odstraneneho_materialu))
mnozstvi_odstran...	<4x4 double>	0.1000	10	5	X4=max(eig(rychlost_odstraneni_castice))
rychlost_odstrane...	<4x4 double>	0.2000	5	6	X5=max(eig(jednoduchost_konstrukce))
spolehlivost	<4x4 double>	0.1667	6	7	X6=max(eig(spolehlivost))
				8	X7=max(eig(max_zastavbova_vyska))

Obr. 23 – Výpočet konzistence dat [vlastní]

Command Window	
>> konzistence	
X1 =	
	6.0090
X2 =	
	4.0206
X3 =	
	4.0012
X4 =	
	4.0042
X5 =	
	4.0458
X6 =	
	4.1545
X7 =	
	4.0206

$$CI_1 = \frac{x_1 - k_1}{k_1 - 1} = \frac{6,009 - 6}{6 - 1} = 0,0018 [-] \quad (2)$$

$$CI_2 = \frac{x_2 - k_2}{k_2 - 1} = \frac{4,0206 - 4}{4 - 1} = 0,0069[-] \quad (3)$$

$$CI_3 = \frac{x_3 - k_3}{k_3 - 1} = \frac{4,0012 - 4}{4 - 1} = 0,0004[-] \quad (4)$$

$$CI_4 = \frac{x_4 - k_4}{k_4 - 1} = \frac{4,0042 - 4}{4 - 1} = 0,0014[-] \quad (5)$$

$$CI_5 = \frac{x_5 - k_5}{k_5 - 1} = \frac{4,0458 - 4}{4 - 1} = 0,015[-] \quad (6)$$

$$CI_6 = \frac{x_6 - k_6}{k_6 - 1} = \frac{4,1545 - 4}{4 - 1} = 0,0515[-] \quad (7)$$

$$CI_7 = \frac{x_7 - k_7}{k_7 - 1} = \frac{4,0206 - 4}{4 - 1} = 0,0069[-] \quad (8)$$

Obr. 24 – Vlastní čísla [vlastní]

Konzistence je splněna, pokud platí vztah:

$$\frac{CI}{RI} < 0,1 \quad (9)$$

RI je random index který dán tab. 13.

Tab. 11 – Hodnoty random indexu RI [14]

<i>m</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>RI</i>	0	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.51

$$\frac{CI_1}{RI_1} = \frac{0,0018}{1,24} = 0,0015 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (10)$$

$$\frac{CI_2}{RI_2} = \frac{0,0069}{0,90} = 0,0077 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (11)$$

$$\frac{CI_3}{RI_3} = \frac{0,0004}{0,90} = 0,0004 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (12)$$

$$\frac{CI_4}{RI_4} = \frac{0,0014}{0,90} = 0,0016 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (13)$$

$$\frac{CI_5}{RI_5} = \frac{0,0150}{0,90} = 0,016 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (14)$$

$$\frac{CI_6}{RI_6} = \frac{0,0515}{0,90} = 0,057 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (15)$$

$$\frac{CI_7}{RI_7} = \frac{0,0069}{0,90} = 0,0077 < 0,1 \Rightarrow \textit{konzistentní} \quad (16)$$

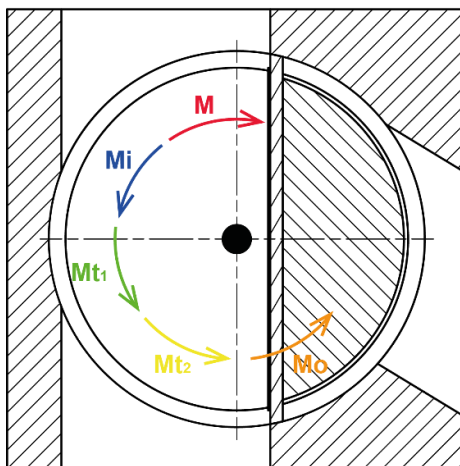
Z výpočtů vychází, že jsou všechny matice konzistentní, jelikož je splněna podmínka pro konzistenci $CI/RI < 0,1$. Výběr konceptu splňuje veškeré požadavky a jeho výsledek je spolehlivý.

Přednosti vítězného konceptu oproti ostatním jsou v jednoduchosti konstrukce, spolehlivosti a zástavbové výšce. Oproti jiným je horší v množství odstraněného materiálu. Koncept C vychází jako vítězný v závislosti na stanovených váhových kritériích.

V dalších fázích bude podrobněji rozpracovávána varianta s indukčním čidlem a otočným mechanickým vyhazovačem.

7 Výpočty a výběr pohonu

Pro návrh pneumatického pohonu bude nutné určit odporové momenty, které působí proti pohybu kyvného pohonu, tyto momenty jsou zobrazeny na obr. 25.



Obr. 25 – Momenty působící na rotor [vlastní]

- M - Moment pneumatického válce
- Mi - Setrvačný moment
- Mt₁ - Třecí moment těsnění o rotor
- Mt₂ - Třecí moment materiálu o stěnu těla
- Mo - Ohybový moment pryžového těsnění
- Mh - Moment od hybnosti materiálu

Při rotaci otočného členu diverteru mohou nastat dvě varianty:

1. Sloupec materiálu uvnitř diverteru není v pohybu
2. Sloupec materiálu uvnitř diverteru se pohybuje

Rovnice momentové rovnováhy pro materiál, který není v pohybu

$$M \geq M_i + M_{t_1} + M_{t_{2.1}} + M_o \quad (17)$$

Rovnice momentové rovnováhy pro pohybující se materiál

$$M \geq M_i + M_{t_1} + M_{t_{2.2}} + M_h + M_o \quad (18)$$

Dle konfigurátoru pro výpočet kyvných pohonů od firmy SMC jsou doporučeny pro výpočet potřebného momentu kyvného pohonu následující vztahy 18 - 23:

$$M \geq \text{Odporové momenty} \cdot (3 \text{ až } 5) + \text{Setrvačný moment} \cdot 10 \quad (19)$$

$$M \geq M_{p1} + M_{p2} \quad (20)$$

M_{P1} pro nepohybující se materiál

$$M_{p1} = (Mt_1 + Mt_{2.1} + Mo) \cdot (3 \text{ až } 5) \quad (21)$$

M_{P1} pro pohybující se materiál

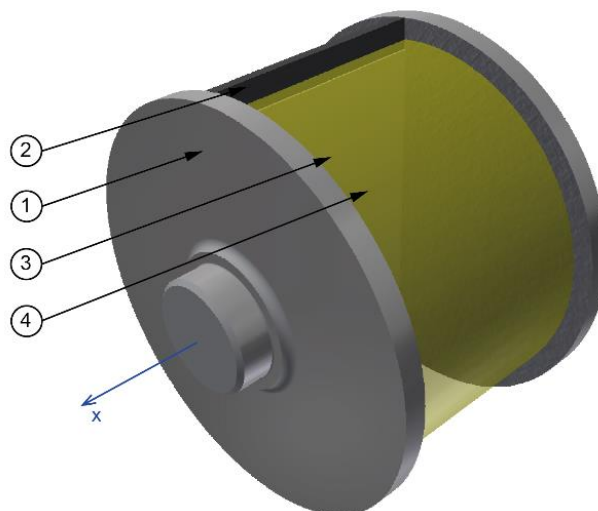
$$M_{p1} = (Mt_1 + Mt_{2.2} + Mh + Mo) \cdot (3 \text{ až } 5) \quad (22)$$

M_{P2} je shodné pro oba případy

$$M_{p2} = Mi \cdot 10 \quad (23)$$

7.1 Momenty setrvačnosti

Moment setrvačnosti rotujících součástí k ose x nebude dopočítáván analyticky z důvodu složitosti jednotlivých dílů. Rotující díly byly vymodelovány pomocí 3D softwaru. Sestava rotujících částí je zobrazena na obr. 26.



Obr. 26 – Moment setrvačnosti rotujících částí [vlastní]

Jednotlivým dílům byl přiřazen materiál, který v sobě nese informace o hustotě. U plastového materiálu byla použita jeho sypaná hmotnost. Následně mohla být odečtena hmotnost dílu a jeho setrvačný moment k ose x, tedy k ose rotace. Souhrn výsledků je obsažen v tab. 14.

Tab. 12 – Parametry rotujících částí

Č.	Název	Hustota ρ [kg/m ³]	Hmotnost m [kg]	Moment setrv. k ose x [kg/m ²]
1	Rotor - ocel	7850	1,195	0,844
2	Těsnění - guma	930	0,012	0,008
3	Plech - ocel	7850	0,032	0,018
4	Granulát	760	0,121	0,072
	Celkem	-	1,36	0,942

7.2 Požadovaná doba na otočení mechanismu.

Maximální výkon extruderu 280 kg/hod

Maximální výkon vstřikolisu 140 kg/hod

Výkon vstřikovacích strojů se odvíjí od doby plastifikace, zde je počítáno s dobou plastifikace 50% z celkového vstřikovacího cyklu, což se může v daných aplikacích lišit.

Objem průchozího materiálu za hodinu

$$Q = \frac{P}{\rho_s} = \frac{280}{760} = 0,368 [m^3 \cdot hod^{-1}] = 1,02 \cdot 10^{-4} [m^3 \cdot s^{-1}] \quad (24)$$

Rychlost proudění materiálu

$$v = \frac{Q}{S} = \frac{1,02 \cdot 10^{-4}}{\frac{\pi \cdot 0,05^2}{4}} = 0,052 [m \cdot s^{-1}] = 52 [mm \cdot s^{-1}] \quad (25)$$

Čas potřebný na otočení

$$t_o = \frac{z}{v} = \frac{105}{52} = 2,01 [s] \quad \text{volím } 2 \text{ s} \quad (26)$$

Požadovaná doba pro otočení rotoru je zvolena 2s.

Inertial load: Ta	
Rotate the load with inertia.	
<p>Center of rotation and center of gravity of the load are concentric.</p> <p>Rotation shaft is vertical (up and down).</p>	
$Ta = I \cdot \omega = I \cdot \frac{2\theta}{t^2}$ <p>Ta: Inertial load (N·m) I: Moment of inertia (kg·m²) ω: Angular acceleration (rad/s²) θ: Rotation angle (rad) t: Rotation time (s)</p> <p>For low speed rotary, if the rotation time exceeds 2s per 90°, inertial load is calculated with rotation time of 2s per 90°.</p>	
Necessary torque: T = Ta x 10 (Note)	

Setrvačný moment

$$Mi = Ix \cdot \varepsilon \quad (27)$$

$$Ix = \sum Ix = Ix_1 + Ix_2 + Ix_3 + Ix_4 \quad (28)$$

$$= 0,942 [kg \cdot m^{-2}]$$

Úhlové zrychlení ε

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \theta}{t_o^2} = \frac{2 \cdot \frac{\pi \cdot 121}{180}}{2^2} = 1,06 [rad \cdot s^{-2}] \quad (29)$$

Setrvačný moment

$$Mi = Ix \cdot \varepsilon = 0,942 \cdot 1,06 = 0,99 [N \cdot m] \quad (30)$$

Potřebný moment

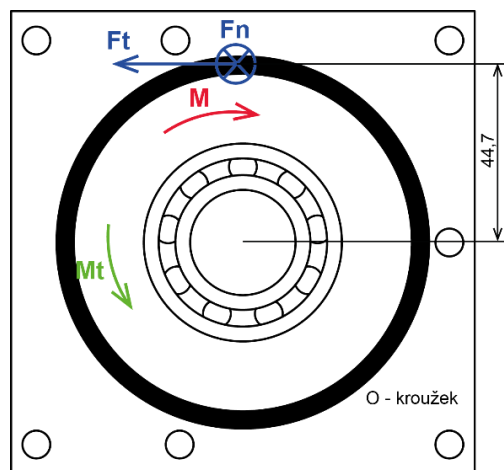
$$M_{p2} = Mi \cdot 10 = 0,99 \cdot 10 = 9,9 [N \cdot m] \quad (31)$$

Obr. 27 – Výpočty SMC [15]

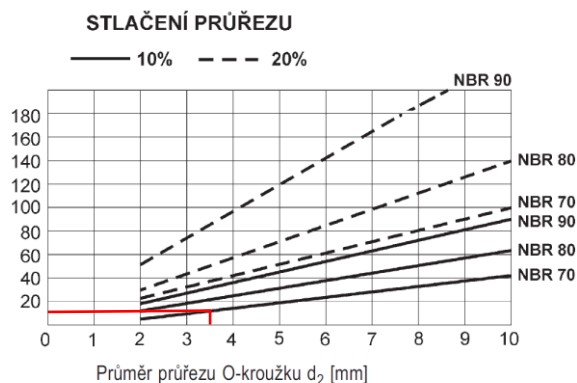
7.3 Třecí moment těsnění o rotor

Tento třecí moment vzniká třením teflonového o-kroužků o rotor diverteru. Normálová síla vzniká stlačením kroužku. Rozložení sil je patrné z obr. 28.

Obr. 29 zobrazuje měrnou deformační sílu F_d na centimetr obvodu O-kroužku v závislosti na průměru průřezu. Velikost deformační síly se dá použít jako



Obr. 28 – Třecí moment o-kroužku



Obr. 29 – Deformační síla [16]

Normálová síla od stlačení o kroužku

$$F_{nk} = F_d \cdot O = 15 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 4,47 = 421,29 \text{ [N]} \quad (32)$$

Koeficient tření teflon – ocel $f_{o-t}=0,04$

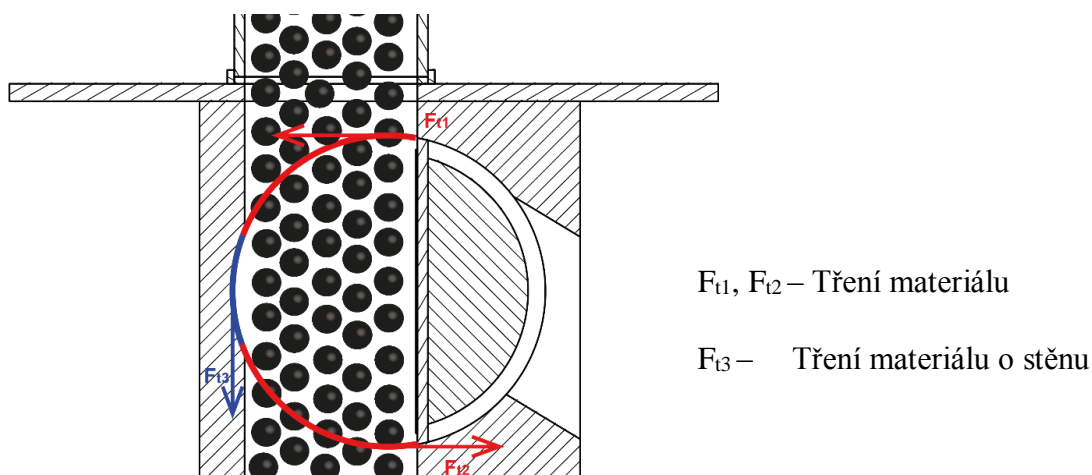
Třecí síla o kroužku o rotor

$$F_{tk} = F_{nk} \cdot f_{o-t} = 421,29 \cdot 0,04 = 16,85 \text{ [N]} \quad (33)$$

Třecí moment těsnění o rotor

$$M_{t1} = 2 \cdot F_{tk} \cdot r_k = 2 \cdot 16,85 \cdot 0,0447 = 1,51 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (34)$$

7.4 Třecí moment od tření materiálu



Obr. 30 – Síly od tření materiálu [vlastní]

Úhel vnitřního tření

$$\varphi = \tan^{-1}(0,9 \cdot \tan \psi) = \tan^{-1}(0,9 \cdot \tan 35) = 32,2[^\circ] \quad (35)$$

Součinitel vnitřního tření

$$f = \tan \varphi = \tan 32,2 = 0,63[-] \quad (36)$$

Koeficient sypnosti

$$w = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} = \frac{1 - \sin 35}{1 + \sin 35} = 0,27[-] \quad (37)$$

Sypná tíha

$$\gamma = \rho_s \cdot g = 760 \cdot 9,81 = 6867[N \cdot m^{-3}] \quad (38)$$

1. Výpočet první třecí síly

Vertikální tlak

$$p_{v1} = \gamma \cdot h_1 = 6867 \cdot 0,284 = 1950,23[Pa] \quad (39)$$

Horizontální tlak

$$p_{h1} = \gamma \cdot h_1 \cdot w = 1263,53 \cdot 0,27 = 526,56 [Pa] \quad (40)$$

Horizontální síla

$$F_{h1} = p_{h1} \cdot A_{h1} = 341,15 \cdot 0,0281 \cdot 0,05 = 0,74[N] \quad (41)$$

Vertikální síla

$$F_{v1} = p_{v1} \cdot A_{v1} = 1950,23 \cdot 0,05 \cdot 0,05 = 4,88[N] \quad (42)$$

Normálová síla

$$F_{n1} = \sqrt{F_{h1}^2 + F_{v1}^2} = \sqrt{0,74^2 + 4,88^2} = 4,9[N] \quad (43)$$

Třecí síla

$$F_{t1} = F_{n1} \cdot f = 4,9 \cdot 0,63 = 3,09[N] \quad (44)$$

Výpočet druhé a třetí síly bude počítán analogicky s první silou.

2. Výpočet druhé třecí síly

$$p_{v2} = \gamma \cdot h_2 = 6867 \cdot 0,21 = 1442,07[Pa] \quad (45)$$

$$p_{h2} = \gamma \cdot h_2 \cdot w = 1442,07 \cdot 0,27 = 389,36[Pa] \quad (45)$$

$$F_{h2} = p_{h2} \cdot A_{h2} = 389,36 \cdot 0,0281 \cdot 0,05 = 0,55[N] \quad (46)$$

$$F_{v2} = p_{v2} \cdot A_{v2} = 1442,07 \cdot 0,05 \cdot 0,05 = 3,6[N] \quad (47)$$

$$F_{n2} = \sqrt{F_{h2}^2 + F_{v2}^2} = \sqrt{0,27^2 + 3,6^2} = 3,61[N] \quad (48)$$

$$F_{t2} = F_{n2} \cdot f = 3,61 \cdot 0,63 = 2,27[N] \quad (49)$$

3. Výpočet třetí třecí síly

Koeficient tření plastový materiál – ocel $f_{o-p}=0,4$

$$p_{v3} = \gamma \cdot h_3 = 6867 \cdot 0,255 = 1751,09[Pa] \quad (50)$$

$$p_{h3} = \gamma \cdot h_3 \cdot w = 1751,09 \cdot 0,27 = 472,79[Pa] \quad (51)$$

$$F_{h3} = p_{h3} \cdot A_{h3} = 472,79 \cdot 0,032 \cdot 0,05 = 0,76[N] \quad (52)$$

$$F_{v3} = p_{v3} \cdot A_{v3} = 1751,09 \cdot 0,003 \cdot 0,05 = 0,26[N] \quad (53)$$

$$F_{n3} = \sqrt{F_{h3}^2 + F_{v3}^2} = \sqrt{0,76^2 + 0,26^2} = 0,8[N] \quad (54)$$

$$F_{t3} = F_{n3} \cdot f_{o-p} = 0,8 \cdot 0,4 = 0,32[N] \quad (55)$$

4. Výpočet třecího momentu

$$M_{t2.1} = r \cdot \sum F_t = 0,045 \cdot (3,09 + 2,27 + 0,32) = 0,26[N \cdot m] \quad (56)$$

$$M_{t2.2} = r \cdot (F_{t2} + F_{t3}) = 0,045 \cdot (2,27 + 0,32) = 0,12[N \cdot m] \quad (57)$$

7.5 Hybnost materiálu

Odporový moment působící proti otáčení M_h je způsoben hybností pohybujícího se plastového materiálu. Proud materiálu, který se pohybuje rychlostí v je zastaven za čas t , který odpovídá době uzavření diverteru. Na rotor tedy působí síla způsobená hybností materiálu a gravitační síla, tyto síly vyvolají odporový moment dle následujících výpočtů.

Hybnost materiálu

$$p = m_m \cdot v = 0,298 \cdot 0,047 = 0,014 [kg \cdot m \cdot s^{-1}] \quad (58)$$

Síla od hybnosti materiálu

$$F_h = \frac{p}{t} \quad (59)$$

Čas uzavření průchodu materiálu

$$t = \frac{\varphi}{\omega} = \frac{79,2 \cdot \pi}{180} = 1,3 [s] \quad (60)$$

Síla od hybnosti materiálu

$$F_i = \frac{p}{t} = \frac{0,014}{1,3} = 0,011 [N] \quad (61)$$

Gravitační síla

$$F_g = m \cdot g = 0,298 \cdot 9,81 = 2,92 [N] \quad (62)$$

Vertikální síla

$$F_{vh} = F_h + F_g = 0,011 + 2,92 = 2,931 [N] \quad (63)$$

Normálová síla

$$F_{nh} = F_{vh} \cdot \cos \alpha = 2,931 \cdot \cos 21 = 2,74 [N] \quad (64)$$

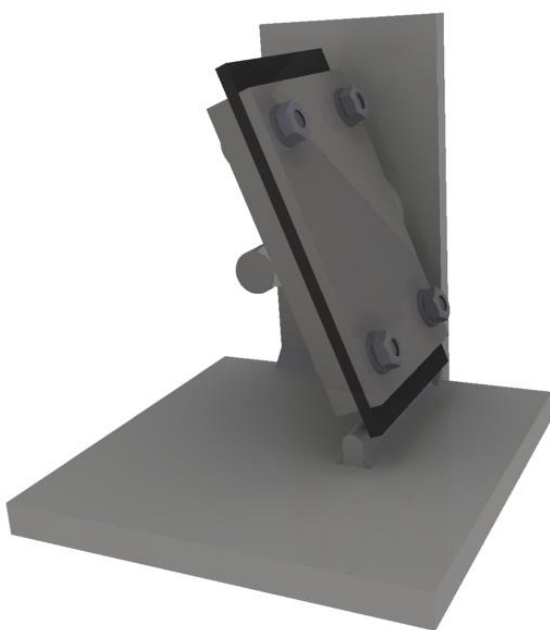
Moment od hybnosti materiálu

$$M_h = F_n \cdot r = 2,74 \cdot 0,017 = 0,05 [N \cdot m] \quad (65)$$

7.6 Odporový moment pryžového těsnění

Odporový moment pryžového stíracího prvku je uvažován jako moment, který je potřebný pro ohyb pryžového prvku. Ohyb by nastal v případě zaseknutí materiálu mezi pryž a tělo diverteru. Jedná o pryžový materiál, který bude mít velké deformace, což by mohlo vést k nelineárním výpočtům. Z tohoto důvodu bylo přikročeno ke zjištění odporového momentu pomocí experimentu namísto výpočtů.

Pro experiment byl nejdříve vymodelován přípravek viz obr. 31, který je zjednodušeným modelem diverteru a odpovídá skutečným rozměrům a uspořádání. Skládá se z dvou podsestav, jedna je statická a druhá rotační. Statická část je opatřena prvkem, který tvoří překážku v otáčení rotační části. Tento prvek je umístěn v místě, kde by mohlo dojít k zaseknutí plastového granulátu a je brán nejhorší možný případ, tedy zaseknutí granulí po celé šířce hrany. Rotační část bude spojena s momentovým klíčem, ze kterého bude odečten moment potřebný k prohnutí pryžového břitu. Dle návrhu byl vytvořen měřicí přípravek obr. 31.



Obr. 31 – Testovací přípravek [vlastní]

Použitá zařízení:

Momentový klíč

Výrobce:

Torqueleader

Typ:

Dial measuring torque wrench ADS4

Rozsah toč. momentu: 0.8 Nm až 4 Nm

Bylo provedeno deset měření momentu potřebného k prohnutí pryžového břitu. Tyto hodnoty byly zaznamenány do tab. 15. Ukázka experimentu je na obr. 32



Obr. 32 – Měření odporového momentu pryže [vlastní]

Tab. 13 – Naměřené hodnoty ohybu pryže

Č. měř.	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.
Moment [Nm]	0,96	0,92	0,85	0,91	0,96	0,93	0,87	0,9	0,94	0,95

Určení odporového momentu pryžového těsnění

Střední hodnota:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n x_i = \frac{1}{10} \cdot (0,96 + 0,92 + \dots) = 0,919 [N \cdot m] \quad (66)$$

Rozptyl:

$$s^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (x_i - \bar{x})^2 = \frac{1}{10} \cdot (0,96 - 0,919)^2 + \dots = 0,001 [N \cdot m] \quad (67)$$

Velikost momentu:

$$M_o = 0,919 \pm 0,001 [Nm] \quad (68)$$

Pro další výpočty bude uvažován moment $M_o = 1 [Nm]$

Výpočet odporového momentu pro materiál, který není v pohybu

$$M_{p1} = (Mt_1 + Mt_{2.1} + Mo) \cdot (3 \text{ až } 5) = (1,51 + 0,26 + 1) \cdot 3$$
$$= 8,31 [Nm] \quad (69)$$

Výpočet odporového momentu pro pohybující se materiál

$$M_{p1} = (Mt_1 + Mt_{2.2} + Mh + Mo) \cdot (3 \text{ až } 5)$$
$$= (1,51 + 0,12 + 0,05 + 1) \cdot 3 = 8,04 [Nm] \quad (70)$$

Potřebný moment

$$M \geq 8,31 + 9,9 \geq 18,21 [Nm] \quad (71)$$

Běžným tlakem v rozvodech tlakového vzduchu je hodnota 6 - 10 bar. Pneumatický kyvný pohon musí tedy splňovat funkci i při nejnižším tlaku – 6 bar, což odpovídá 0,6 MPa. Pohon tedy bude vybrán z tabulky na obr. 33., která udává točivý moment při daném tlaku.

Effective Torque

Size	Operating pressure [MPa]										[N·m]
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	
30	0.38	0.76	1.14	1.53	1.91	2.29	2.67	3.05	3.44	3.82	
50	1.85	3.71	5.57	7.43	9.27	11.2	13.0	14.9	16.7	18.5	
63	3.44	6.88	10.4	13.8	17.2	20.6	24.0	27.5	31.0	34.4	
80	6.34	12.7	19.0	25.3	31.7	38.0	44.4	50.7	57.0	63.4	
100	14.9	29.7	44.6	59.4	74.3	89.1	104	119	133	149	

Obr. 33 – Parametry kyvných pohonů SMC [17]

Vhodný typem je pneumatický kyvný pohon z řady CRA1 - CRA1BXU63TF-180Z. Na obr. 34 je ukázka pneumatického válce z řady CRA. Pro danou aplikaci byl vybrán pohon se čtvercovou hřídelí, místo těsného pera z důvodu kratšího spojení pohonu s rotorem.

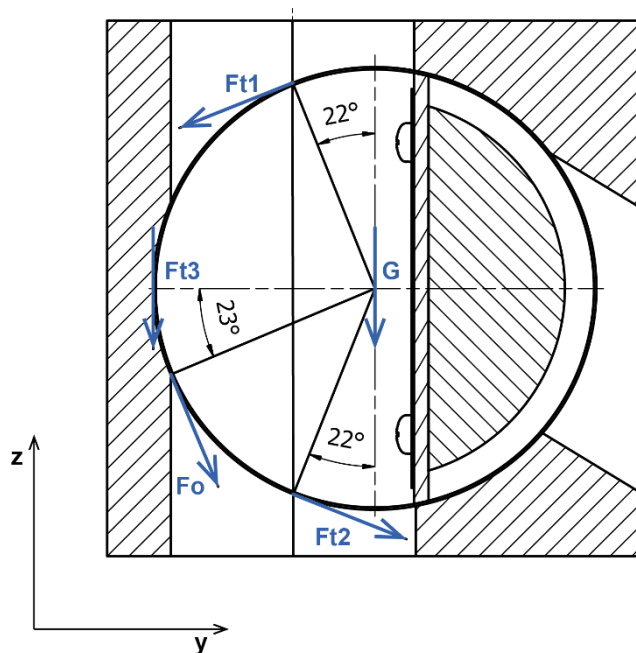


Obr. 34 – Pneumatický kyvný pohon SMC [17]

7.7 Kontrola rotorového hřídele při běžném provozu

Ohyb hřídele při běžném provozu

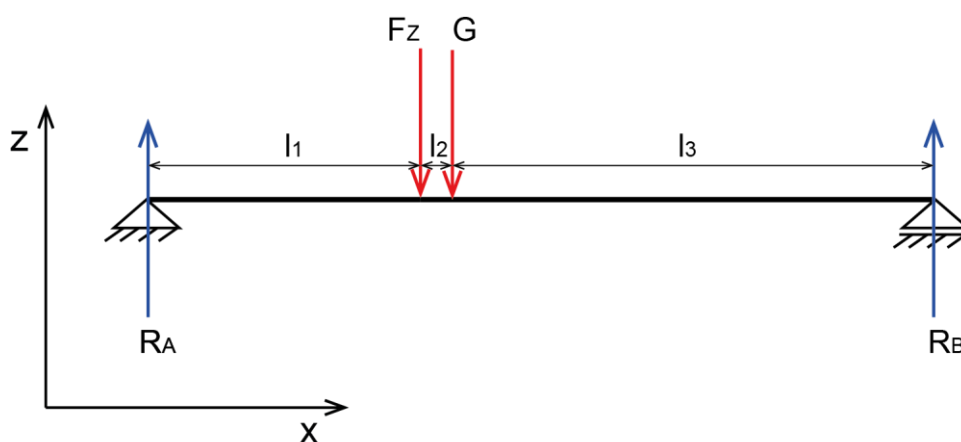
Rotor je za normálního provozu zatížen odporovými silami, které byly vypočítány v předchozí kapitole pro nepohybující se materiál. Na ohyb mají vliv pouze síly zobrazené na obr. 35. Mimo odporové síly se zde vyskytuje ještě síla gravitační.



Obr. 35 – Silové zatížení rotoru [vlastní]

Ohyb hřídele v ose z

Hřídel je zatěžován silou F_z , která je z-tovou složkou odporových sil a gravitační silou G dle obr. 36.



Obr. 36 – Schéma reakcí hřídele v rovině xz pro běžný provoz [vlastní]

$l_1=36,2$ [mm], $l_2=4,2$ [mm], $l_3=63,8$ [mm]

Rovnice statiky

$$z: R_{Az} - F_Z - G + R_{Bz} = 0 \quad (72)$$

$$M_A: F_Z \cdot l_1 + G \cdot (l_1 + l_2) - R_B \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0 \quad (73)$$

Výpočet zatěžujících sil F_Z a G

$$F_Z = F_{t3} + F_{t1z} + F_{oz} + F_{t2z} \quad (74)$$

$$F_{t1z} = F_{t1} \cdot \sin 22 = 3,09 \cdot \sin 22 = 1,16 \text{ [N]} \quad (75)$$

$$F_{oz} = F_o \cdot \cos 23 = 22,2 \cdot \cos 23 = 20,44 \text{ [N]} \quad (76)$$

$$F_{t2z} = F_{t2} \cdot \sin 22 = 2,27 \cdot \sin 22 = 0,85 \text{ [N]} \quad (77)$$

$$F_{t3} = 0,32 \text{ [N]} \quad (78)$$

$$F_Z = 1,16 + 20,44 + 0,85 + 0,32 = 22,77 \text{ [N]} \quad (79)$$

$$G = m \cdot g = 1,36 \cdot 9,81 = 13,34 \text{ [N]} \quad (80)$$

Výpočet reakcí

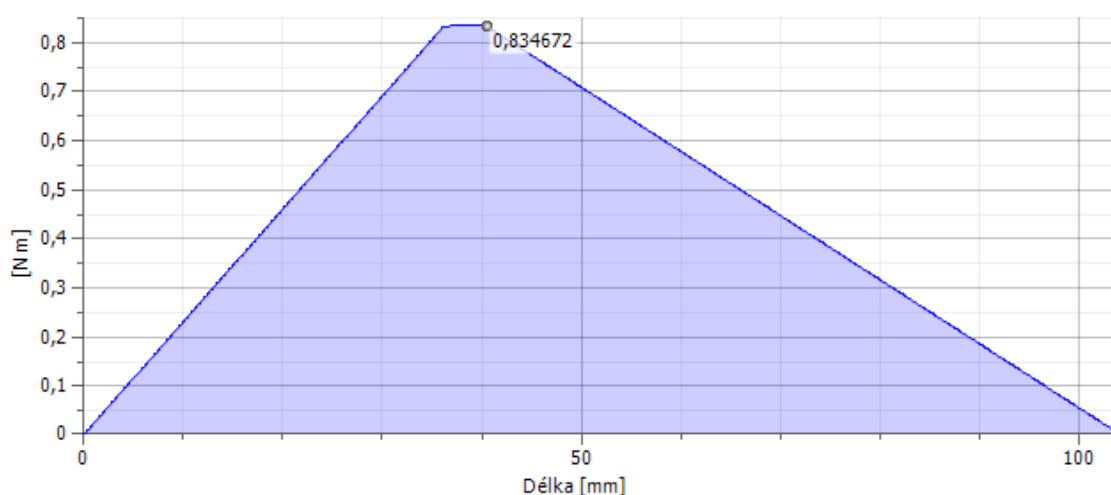
$$R_{Bz} = \frac{F_Z \cdot l_1 + G \cdot (l_1 + l_2)}{(l_1 + l_2 + l_3)} = 13,08 \text{ [N]} \quad (81)$$

$$R_{Az} = F_Z + G - R_{Bz} = 23,03 \text{ [N]} \quad (82)$$

VSÚ pro kontrolovaný průřez $x = 66 \text{ [mm]}$

$$T = R_{Az} - F_Z - G = -13,08 \text{ [N]} \quad (83)$$

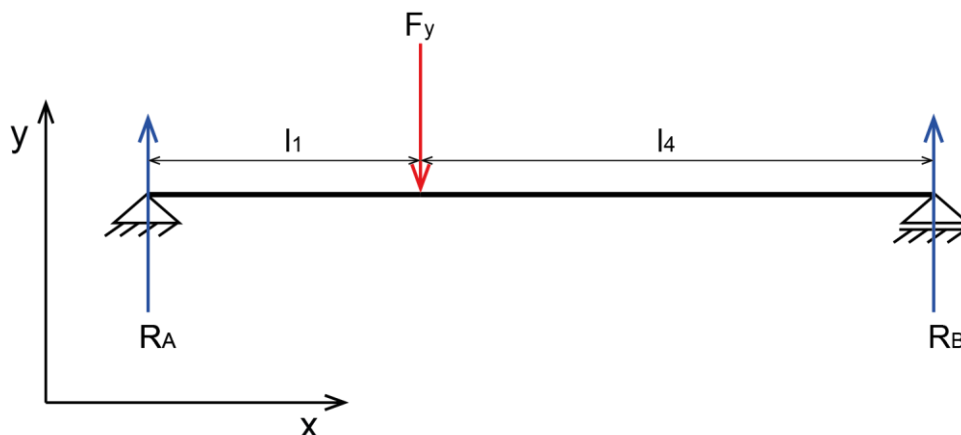
$$\begin{aligned} M_{OZ} &= R_{Az} \cdot x - F_Z \cdot (x - l_1) - G \cdot (x - l_1 - l_2) \\ &= 0,5 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned} \quad (84)$$



Obr. 37 - Průběh M_o hřídele v rovině xz při běžném provozu [vlastní]

Ohyb hřídele v ose y

Hřídel je zatěžován silou F_Y , která je y-lonovou složkou odporových sil, dle obr. 38.



Obr. 38 – Schéma reakcí hřídele v rovině xy pro běžný provoz [vlastní]

$l_1=36,2$ [mm], $l_4=68$ [mm]

Rovnice statiky

$$y: R_{Ay} - F_Y + R_{By} = 0 \quad (85)$$

$$M_A: F_Y \cdot l_1 + R_B \cdot (l_1 + l_4) = 0 \quad (86)$$

Výpočet zatěžujících sil F_Y

$$F_Y = F_{t2y} + F_{oy} - F_{t1y} \quad (87)$$

$$F_{t1y} = F_{t1} \cdot \cos 22 = 3,09 \cdot \cos 22 = 2,86 \text{ [N]} \quad (88)$$

$$F_{oy} = F_o \cdot \sin 23 = 22,2 \cdot \sin 23 = 8,67 \text{ [N]} \quad (89)$$

$$F_{t2y} = F_{t2} \cdot \cos 22 = 2,27 \cdot \cos 22 = 2,1 \text{ [N]} \quad (90)$$

$$F_Y = 2,86 + 8,67 + 2,1 = 13,63 \text{ [N]} \quad (91)$$

Výpočet reakcí

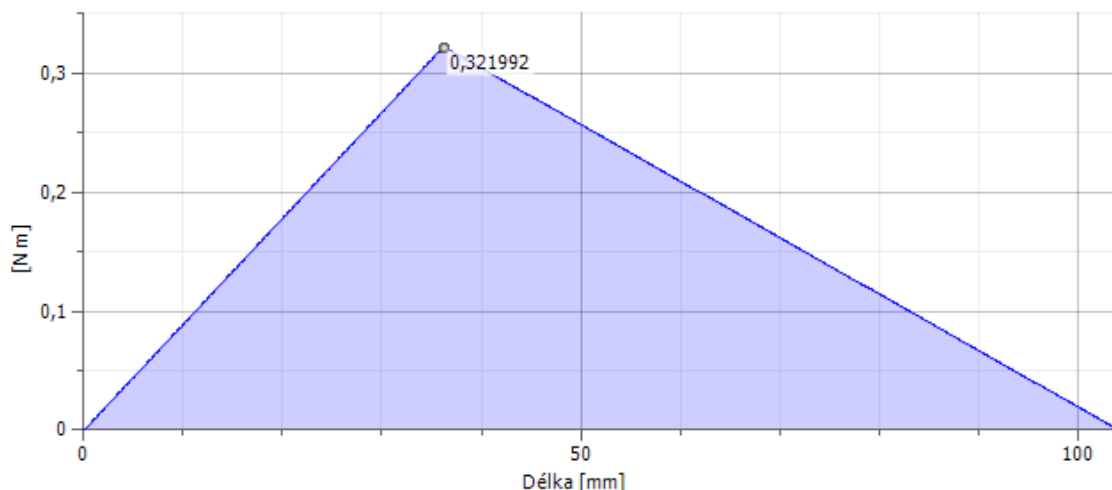
$$R_{By} = \frac{F_Y \cdot l_1}{l_1 + l_4} = 4,74 \text{ [N]} \quad (92)$$

$$R_{Ay} = F_Y - R_B = 8,89 \text{ [N]} \quad (93)$$

VSU pro kontrolovaný průřez $x = 66$ [mm]

$$T = R_{Ay} - F_Y = -4,74[N] \quad (94)$$

$$M_{OY} = R_{Ay} \cdot x - F_Y \cdot (x - l_1) = 0,18 [N \cdot m] \quad (95)$$



Obr. 39 - Průběh M_o hřídele v rovině xy při běžném provozu [vlastní]

Výpočet ohybového momentu

$$M_o = \sqrt{M_{OY}^2 + M_{OZ}^2} = 0,53 [N \cdot m] \quad (96)$$

Kroutící moment hřídele

$$\begin{aligned} M_K &= M_i + Mt_1 + Mt_{2,1} + Mo = 0,99 + 1,51 + 0,26 + 1 \\ &= 3,76[N \cdot m] \end{aligned} \quad (97)$$

7.8 Kontrola rotorového hřídele maximálním zatížením – zaseknutí částice

Zaseknutí částice by nemělo za běžného provozu nastat, ovšem mohlo by k tomu dojít v případě materiálu s velkou zrnitostí, nebo při nesprávném zacházení. Síla působící na rotorový hřídel je dána maximálním krouticím momentem kyvného pohonu při tahu 6 bar, z něhož vyplývá síla F_{\max} , která má stejný směr působení jako síla F_o . Rozmístění sil je totožné jako u zatížení při běžném provozu, pouze síly F_y a F_z jsou nahrazeny silami $F_{y\max}$ a $F_{z\max}$, gravitační síla se nemění.

Ohyb hřídele při maximálním zatížení

Ohyb hřídele v ose z

Rovnice statiky

$$\sum z: R_{Az \max} - F_{z \max} - G + R_{Bz \max} = 0 \quad (98)$$

$$\sum M_A: F_{z \max} \cdot l_1 + G \cdot (l_1 + l_2) - R_{Bz \max} \cdot (l_1 + l_2 + l_3) = 0 \quad (99)$$

Výpočet zatěžující síly $F_{z \max}$

$$F_{\max} = \frac{M_{0,6}}{r} = \frac{20,6}{0,045} = 457,78 \text{ [N]} \quad (100)$$

$$F_{z \max} = F_{\max} \cdot \cos 23 = 457,78 \cdot \cos 23 = 421,39 \text{ [N]} \quad (101)$$

Výpočet reakcí

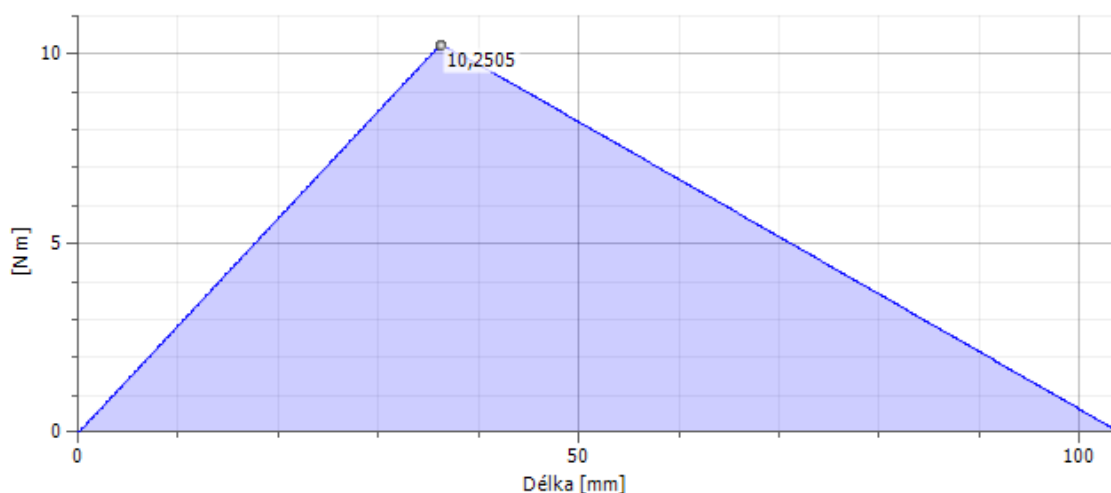
$$R_{Bz \max} = \frac{F_{z \max} \cdot l_1 + G \cdot (l_1 + l_2)}{(l_1 + l_2 + l_3)} = 151,57 \text{ [N]} \quad (102)$$

$$R_{Az \max} = F_{z \max} + G - R_{Bz \max} = 283,16 \text{ [N]} \quad (103)$$

VSÚ pro kontrolovaný průřez $x = 66 \text{ [mm]}$

$$T = R_{Az \max} - F_{z \max} - G = -151,57 \text{ [N]} \quad (104)$$

$$\begin{aligned} M_{OZ} &= R_{Az \max} \cdot x - F_{z \max} \cdot (x - l_1) - G \cdot (x - l_1 - l_2) \\ &= 5,79 \text{ [N} \cdot \text{m]} \end{aligned} \quad (105)$$



Obr. 40 – Průběh M_0 hřídele v rovině xz při max. zatížení [vlastní]

Ohyb hřídele v ose y

Rovnice statiky

$$y: R_{Ay \max} - F_{y \max} + R_{By \max} = 0 \quad (106)$$

$$M_A: F_z \cdot l_1 + R_{By \max} \cdot (l_1 + l_4) = 0 \quad (107)$$

Výpočet zatěžujících sil F_y

$$F_{y \max} = F_{y \max} \cdot \sin 23 = 457,78 \cdot \sin 23 = 178,87 \text{ [N]} \quad (108)$$

Výpočet reakcí

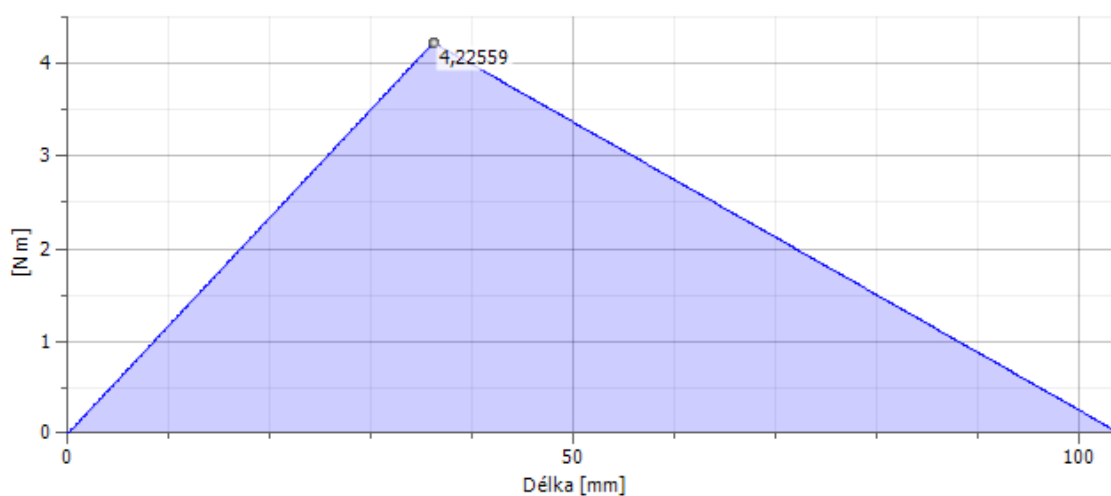
$$R_{By \max} = \frac{F_{y \max} \cdot l_1}{l_1 + l_4} = 62,14 \text{ [N]} \quad (109)$$

$$R_{Ay \max} = F_{y \max} - R_{By \max} = 116,73 \text{ [N]} \quad (110)$$

VSU pro kontrolovaný průřez $x = 66 \text{ [mm]}$

$$T = R_{Ay \max} - F_{y \max} = -62,14 \text{ [N]} \quad (111)$$

$$M_{OY} = R_{Ay \max} \cdot x - F_{y \max} \cdot (x - l_1) = 2,37 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (112)$$



Obr. 41 - Průběh M_o hřídele v rovině xy při max. zatížení [vlastní]

Výpočet ohybového momentu

$$M_{o \max} = \sqrt{M_{OY \max}^2 + M_{OZ \max}^2} = 6,26 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (113)$$

Kroutící moment hřídele

$$M_{0,6} = 20,6 \text{ [N} \cdot \text{m]} \quad (114)$$

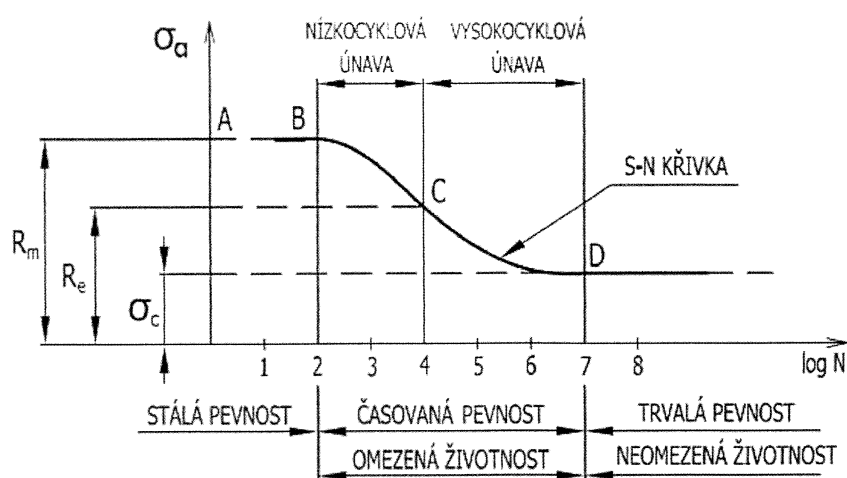
7.9 Pevnostní kontrola hřídele

Výpočet počtu cyklů

- Požadovaná životnost 5 let
- Nepřetržitý provoz se 14 denní odstávkou 351 dní/rok
- Předpokládaný počet cyklů 30 cyklů/hodina

$$N = 5 \cdot 351 \cdot 24 \cdot 30 = 1263600 [-] \quad (115)$$

Předpokládaný počet cyklů je tedy zaokrouhleně $1,3 \times 10^6$ cyklu. Z obrázku 42 vyplývá že se jedná o vysokocyklovou únavu.



Obr. 42 – S –N křivka [18]

Pevnostní kontrol hřídele

Koeficienty a součinitele vyplývají z [18]

Materiál: ocel - E335 (1.0060)

Mez pevnosti v tahu: $R_m = 580$ [MPa]

Mez kluzu: $R_e = 436$ [MPa]

Časová mez únavy v ohybu:

$$\sigma_c^* = \frac{0,43 \cdot R_m \cdot v_2 \cdot \eta}{\beta_{No}} \quad (116)$$

$$\beta = 1 + q \cdot (\alpha - 1) \quad (117)$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot (q_1 + q_2) \quad (118)$$

$$\beta_N = 1 + (\beta - 1) \frac{\log^4 N}{b + \log^4 N} \quad (119)$$

$$b \cong \left(\frac{12250}{Rm} \right)^2 \quad (120)$$

Vrubové součinitele hledané v grafech literatura [18]:

$$q_1=0,62 [-], q_2=0,82 [-], v_2=0,90 [-], \eta=0,90 [-], \alpha=1,95 [-]$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot (0,62 + 0,82) = 0,72 [-] \quad (121)$$

$$\beta_o = 1 + 0,72 \cdot (1,95 - 1) = 1,68 [-] \quad (122)$$

$$b \cong \left(\frac{12250}{Rm} \right)^2 = \left(\frac{12250}{580} \right)^2 = 446 [-] \quad (123)$$

$$\beta_{No} = 1 + (1,68 - 1) \cdot \frac{\log^4 1263600}{446 + \log^4 1263600} = 1,51 [-] \quad (124)$$

$$\sigma_c^* = \frac{0,43 \cdot 580 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{1,51} = 133,78 [\text{MPa}] \quad (125)$$

Napětí v ohybu:

$$\sigma_o = \frac{M_{omax}}{W_o} = \frac{32 \cdot M_{omax}}{\pi \cdot d^3} = \frac{32 \cdot 6260}{\pi \cdot 25^3} = 4,08 [\text{MPa}] \quad (126)$$

Bezpečnost v ohybu

$$k_\sigma = \frac{\sigma_c^*}{\sigma_o} = \frac{133,78}{4,08} = 32 [-] \quad (127)$$

Časová mez únavy v krutu:

$$\tau_c^* = \frac{0,25 \cdot R_m \cdot v_3 \cdot \eta}{\beta_{Nk}} \quad (128)$$

Vrubové součinitele hledané v grafech literatura [18]:

$$v_3=0,90 [-], \alpha_k=1,7 [-]$$

$$\beta_k = 1 + 0,72 \cdot (1,7 - 1) = 1,50 [-] \quad (129)$$

$$\beta_{Nk} = 1 + (1,50 - 1) \cdot \frac{\log^4 1263600}{446 + \log^4 1263600} = 1,38 [-] \quad (130)$$

$$\tau_c^* = \frac{0,25 \cdot 580 \cdot 0,9 \cdot 0,9}{1,38} = 85,11 [\text{MPa}] \quad (131)$$

Kontrola na krut:

Napětí v krutu:

$$\tau_k = \frac{M_k}{W_k} = \frac{16 \cdot M_{0,6}}{\pi \cdot d^3} = \frac{16 \cdot 20600}{\pi \cdot 25^3} = 6,71 [\text{MPa}] \quad (132)$$

Bezpečnost v krutu

$$k_\tau = \frac{\tau_c^*}{\tau_k} = \frac{85,11}{6,71} = 12 [-] \quad (133)$$

Celková bezpečnost

$$k = \sqrt{\frac{k_{\sigma 1}^2 \cdot k_{\tau 1}^2}{k_{\sigma 1}^2 + k_{\tau 1}^2}} = \sqrt{\frac{32^2 \cdot 12^2}{32^2 + 12^2}} = 11 [-] \quad (134)$$

Bezpečnost hřídele vychází vysoká, ovšem průměr hřídele je dán připojovacími rozměry pro spojení s pneumatickým pohonem.

7.10 Vypočet ložisek

Síly v ložiskách

$$F_R = \sqrt{R_{Ay \max}^2 + R_{Az \max}^2} = \sqrt{116,73^2 + 283,16^2} = 306,28 [N] \quad (135)$$

Bylo zvoleno kuličkové ložisko od firmy SKF s následujícími parametry literatura [19]:

d=25 [mm], D=47 [mm], b=8 [mm], C=8060 [N], C₀=4750 [N]

Statické zatížení

Ekvivalentní zatížení

$$P_0 = F_R = 306,28 [N] \quad (136)$$

Součinitel bezpečnosti valivého ložiska

$$s_0 = \frac{C_0}{P_0} = \frac{4750}{306,28} = 15 [-] \quad (137)$$

Dynamické zatížení

Ekvivalentní zatížení

$$P = F_R = 306,28 [N] \quad (138)$$

Trvanlivost v hodinách

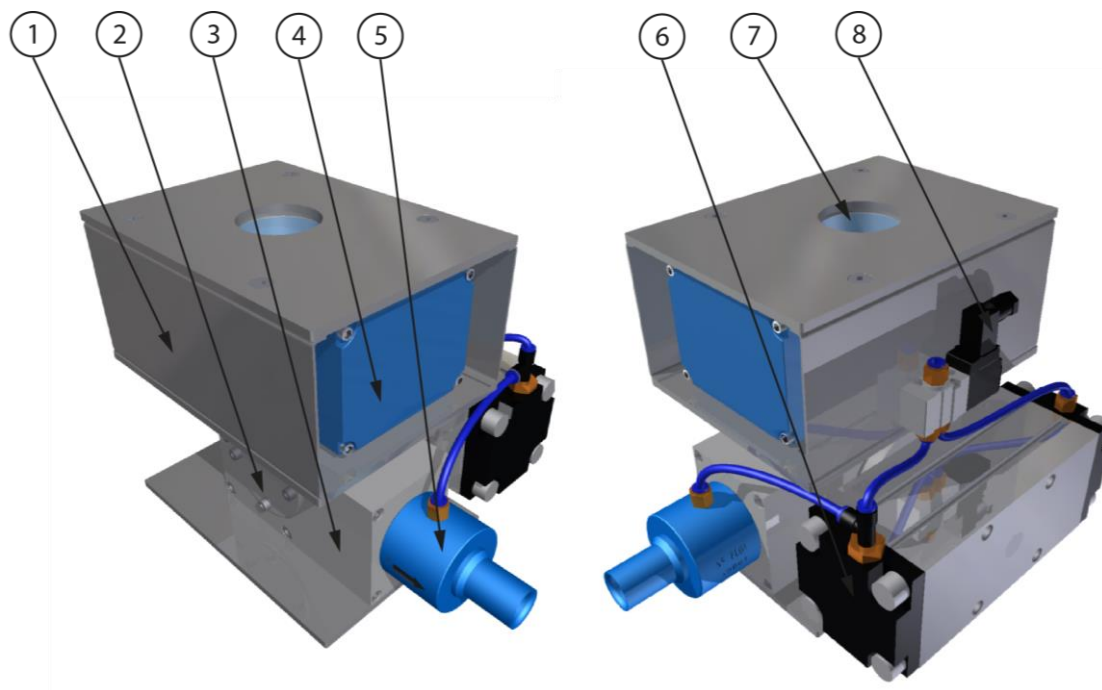
1 cyklus odpovídá 240° z čehož vyplývá počet otáček $n = 0,33 [\text{ot} \cdot \text{min}^{-1}]$

$$L_h = \left(\frac{C}{P}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot n} = \left(\frac{8060}{306,28}\right)^3 \cdot \frac{10^6}{60 \cdot 0,33} = 920,4 \cdot 10^6 [\text{h}] \quad (139)$$

Trvanlivost ložiska je vysoká, ovšem ložisko je dáno konstrukčními rozměry a vychází se ze standartní řady ložisek.

8 Konstrukce

V této kapitole bude popsána konstrukce separátoru. Tato konstrukce vychází z výpočtů, které byly provedeny v předchozí kapitole a je také dána parametry, které vychází z matice QFD. 3D model je zobrazen na obr. 43 s označením základních dílů, které jsou pojmenovány v legendě pod obrázkem.



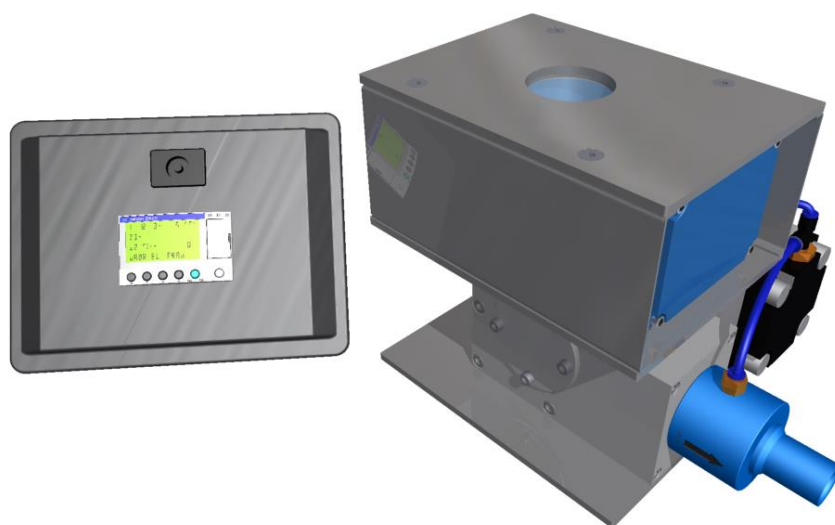
Obr. 43 – Konstrukce separátoru [vlastní]

1 – krytí čidla, 2 – diverter (vyhazovací mechanismus), 3 – odsávací komora, 4 – indukční snímač KJR-D70AN-DNIA-VE , 5 – pneumatický dopravní systém - venturi tryska, 6 – pneumatický kyvný pohon s pastorkem a hřebenem, 7 – skleněná trubka, 8 – solenoid ventil,

Základní princip byl již popsán v konceptu viz koncept C. Při konstrukci bylo nutné provést oproti konceptu drobné změny. Zařízení je uzpůsobeno pro montáž přímo na hrdlo plastikářského stroje, spodní a horní příruba bude uzpůsobená dané aplikaci. Nad separátorem může být násypka na materiál popřípadě zařízení pro dopravu materiálu.

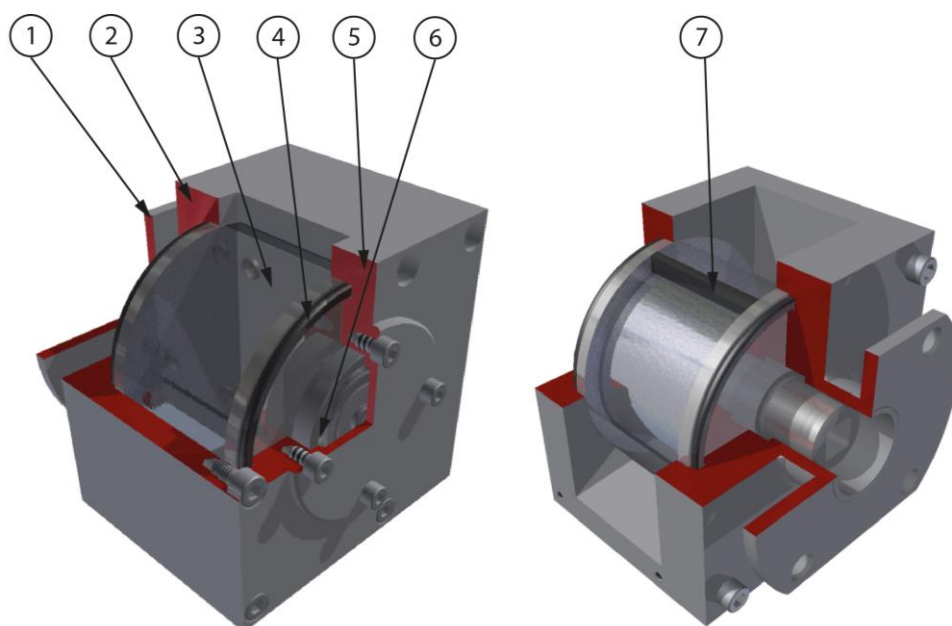
Nadstandartním prvkem bude doplnění elektroniky o řídicí systém postavený na základě inteligentního relé od firmy Schneider Electric – Zelio Logic SR2 B121JD, které umožní například sběr informací o množství vyhozeného materiálu aj. Rozvaděč s ovládáním může být buď přímo na separátoru, nebo pomocí prodlužovací kabelové sady

umístěn na jinou pozici, která bude lépe přístupná obsluze. Separátor s rozvaděčem doplněným o řídicí systém je zobrazen na obr. 44.



Obr. 44 – Separátor s rozvaděčem doplněný o řídicí systém [vlastní]

Kyvný pohon se skládá z ozubeného kola a pastorku, který je ovládán lineárním pneumatickým válcem. Tento pohon byl zvolen místo lineárního válce a mechanismu pro transformaci na rotační pohyb. Rychlost pohonu může být regulována škrticím ventilem. Pohon je spojen s rotorem diverteru prostřednictvím čtyřhranu. V případě zaznamenání nečistoty dojde k otočení rotoru diverteru o 121° a tím k odklonění toku materiálu. Diverter je popsán na obr 45.

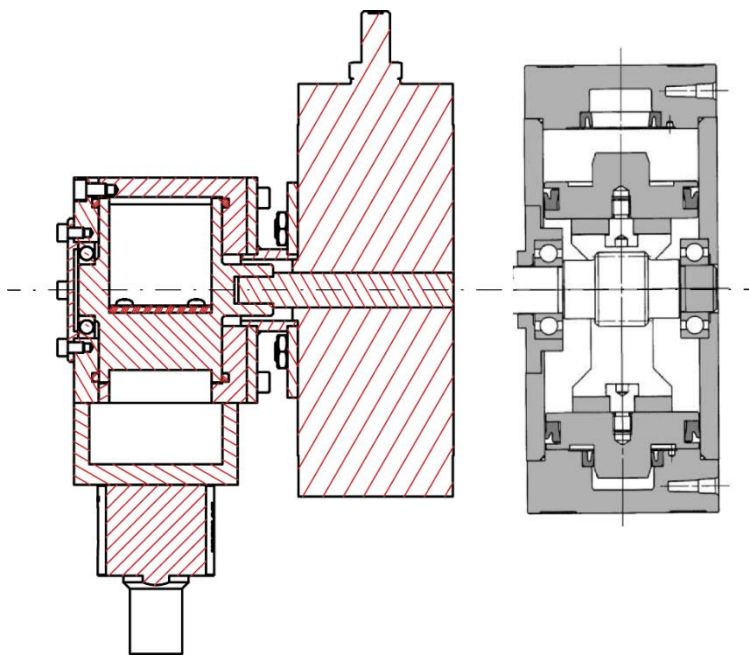


Obr. 45 – Konstrukce divertéru [vlastní]

1 – zadní víko – příruba kyvného pohonu 2 – tělo diverteru , 3 – plech pro upevnění těsnění, 4 – o kroužek, 5 – přední víko, 6 – kuličkové ložisko, 7 – pryžové těsnění

Byla provedena úprava rotoru, původně byl rotor navržen bez pryžového břítu. Problém by nastal v případném zaseknutí granulí mezi rotor a tělo diverteru, v případě že by byl rotor celoodcelový, docházelo by ke stříhu plastových granulí. Pro stříh byla potřeba velká síla, která by kladla větší požadavky na moment kyvného pohonu, z toho vyplývá, že by kyvný pohon musel být větší a tedy i dražší. Bylo tedy přikročeno k variantě s pryžovým břitem. V případě zaseknutí granulí dojde k průhybu pryžového břítu. Požadovaný moment na průhyb byl ověřen experimentem.

Řez diverteru v ose rotace je na obr 46. Zjednodušený model kyvného pohon byl dodán od výrobce ve 3D, ovšem obsahuje pouze vnější a montážní rozměry. Z tohoto důvodu byl na pravou stranu obr. 46 přidán řez kyvného pohonu z katalogu.



Obr. 46 – Řez separátoru v ose rotoru [vlastní]

Rotor byl původně uložen v kuličkových ložiscích na obou stranách rotoru. Tento návrh byl přehodnocen z důvodu možné nesouososti hřídelů, které by vznikla vlivem montáže. Díky nesouososti hřídelů by docházelo k velkému namáhání ložisek. Daný problém by vyřešila pružná spojka. Spojka by zvětšovala vzdálenost pohonu od rotoru a zvětšovala by průměr hřídele. Z toho důvodu bylo přikročeno k vynechání kuličkového ložiska na straně pohonu, čímž dojde ke zmenšení požadavku na souosost. Pro těsnění před prachem a materiálem bylo využito o-kroužků, které jsou uloženy v těle diverteru a těsní čela rotoru.

9 Ekonomické zhodnocení

Ceny jednotlivých nakupovaných a dodávaných dílů vyplívají z cenových nabídek jednotlivých firem. Pro stanovení cen dílů vyráběných byla provedena kalkulace ceny. Pro kalkulaci cen byl vytvořen výpočet v Microsoft Excel. Ukázka kalkulace ceny a popis principu je uveden v následujících výpočtech. Cena jednotlivých dílů separátoru je uvedena v tab. 16.

9.1 Kalkulace ceny dílů

MAT (Materiálové náklady)

Čisté materiálové náklady - hodnota nakupovaných dílů + náklady na rizika % zohlednění nekvalitní práce (zmetky, dodatečný odběr dílů) - vyjadřují se v % na MAT

MOH (Materiálové režijní náklady)

Náklady spojené s nákupem dílů, s logistikou, skladováním, vstupní kvalitou, ... + náklady na nástroje u dodavatelů - vyjadřují se v % na MAT

PDC (Výrobní režijní náklady)

Výrobní režie = mzdy přímých a nepřímých dělníků, platy THP-pracovníků, soc. a zdr. poj., náklady nevýrobních oddělení, rozpočty výrobních oddělení, náklady spojené s náběhem nového výrobku - vyjadřují se v Kč/min na každém výrobním středisku + RCO
Náklady na rizika % zohlednění nekvalitní práce (zmetky, vícepráce, dodatečný odběr dílů) - vyjadřují se v % na PDC

PAC (Správní režijní náklady)

Náklady na správu podniku (vedení podniku, controlling, personální oddělení, ...) – vyjadřují se v % na MAT + PDC bez RCO

PPC (Plánované výrobní náklady)

Vyjádřené v Kč/ks

$$PPC = MAT + MOH + PDC + PAC \quad (140)$$

[20]

Kalkulace ceny těla diverteru

Náklady na materiál $nm = 418$ [Kč], cena strojní minuty $cs = 6$ [Kč], čas výroby $t_v = 360$ [min], riziková procenta - 3%, režijní procenta a procenta na správu - 5%

$$MAT = nm \cdot 1,03 = 418 \cdot 1,03 = 430,5 \text{ [Kč]} \quad (141)$$

$$MOH = MAT \cdot 0,05 = 430,5 \cdot 0,05 = 21,5 \text{ [Kč]} \quad (142)$$

$$PDC = (cs \cdot t_v) \cdot 1,03 = (6 \cdot 360) \cdot 1,03 = 2224,8 \text{ [Kč]} \quad (143)$$

$$PAC = [(cs \cdot t_v) + nm] \cdot 0,05 = [(6 \cdot 360) + 430,5] \cdot 0,05 = 129,5 \text{ [Kč]} \quad (144)$$

$$PPC = MAT + MOH + PDC + PAC = 2806 \text{ [Kč]} \quad (145)$$

Plánované výrobní náklady na výrobu těla diverteru činní 2086 Kč

Tab. 14 – Náklady na jednotlivé položky

	Položka	Kč/ks	ks	Kč
Mechanické prvky				
	Tělo diverteru	2806	1	2806
	Rotor diverteru	1427	1	1427
	Těsnění rotoru	46	1	46
	Přední víko	811	1	811
	Přítlačný plech těsnění	26	1	26
	O-kroužek_81x3,5_NBR70	14	2	28
	DIN 625 SKF - SKF 16005	206	1	206
	Horní příruba	248	2	496
	Těsnění trubky	28	2	56
	Skleněná trubka	106	1	106
	Vzpěrná tyč 1	138	4	552
	Vzpěrná tyč 2	138	4	552
	Kryt čidla	224	1	224
	Víčko přední	172	1	172
	Odsávací kapsa	430	1	430
	Spodní příruba	123	1	123
	Příruba kyvného pohonu	867	1	867
	Spojovací materiál	39	1	39
Elektrické prvky				
	KJR-D70AN	42347	1	42347
	Switching device 1-fold	6304	1	6304
	Napájecí zdroj PS5R-V	920	1	920
	Rozvaděč	986	1	986
	Instalační materiál	320	1	320
Pneumatické prvky				
	Kyvný pohon CRA1BXU63TF	7230	1	7230
	Venturi dopravní systém 30001	2403	1	2403
	Magnetický ventil SY5120	1477	1	1477
	Regulátory tlaku s filtrem	860	1	860
	Instalační materiál	726	1	726
Celkem				72540

9.2 Kalkulace ceny kompletního výrobku

SG&A (Odbytové režijní náklady)

Náklady na skladování, balení, dopravu hotových výrobků k zákazníkům - vyjadřují se v % na PPC

SUC (Náběhové náklady)

Náklady ve výrobě spojené s náběhem nových výrobků - vyjadřují se v % na PPC

TC (Plánované celkové náklady)

Vyjádřené v Kč/ks

MAR (Zisková přírážka)

Vyjádřuje se v % na plánované celkové náklady

TP (Transferová cena)

Cena vyjádřená v Kč/ks

[20]

Kalkulace separátoru

Náklady na materiál $nm = 72540$ [Kč], cena montážní minuty $cm = 4$ [Kč], doba montáže $t_m = 120$ [min], riziková procenta - 3%, režijní procenta a procenta na správu - 5%, procenta na odbytové náklady a procenta na náběh - 1%, marže - 30%

$$MAT = nm \cdot 1,03 = 72540 \cdot 1,03 = 74716,2 \text{ [Kč]} \quad (146)$$

$$MOH = MAT \cdot 0,05 = 74716,2 \cdot 0,05 = 3735,8 \text{ [Kč]} \quad (147)$$

$$PDC = (cm \cdot t_m) \cdot 1,03 = (4 \cdot 120) \cdot 1,03 = 494,4 \text{ [Kč]} \quad (148)$$

$$PAC = [(cs \cdot t_v) + nm] \cdot 0,05 = [(4 \cdot 120) + 72540] \cdot 0,05 = 3651 \text{ [Kč]} \quad (149)$$

$$PPC = MAT + MOH + PDC + PAC = 82597 \text{ [Kč]} \quad (150)$$

Plánované výrobní a montážní náklady na kompletní separátor činní 82597 Kč.

$$SG\&A = PPC \cdot 0,01 = 82597 \cdot 0,01 = 826 \text{ [Kč]} \quad (151)$$

$$SUC = PPC \cdot 0,01 = 82597 \cdot 0,01 = 826 \text{ [Kč]} \quad (152)$$

$$TC = PPC + SG\&A + SUC = 82597 + 826 + 826 = 84249 \text{ [Kč]} \quad (153)$$

$$MAR = TC \cdot 0,3 = 84249 \cdot 0,3 = 25275 \text{ [Kč]} \quad (154)$$

$$TP = TC + MAR = 84249 + 25275 = 109524 \text{ [Kč]} \quad (155)$$

Výsledná cena separátoru kovových částic byla vypočítána 109524 Kč bez DPH za kus a jedná se o prodejní cenu. Cena se ještě může upravit po vyrobení prototypu, kdy dojde k úpravám výrobních časů. Náklady také závisí na aktuálním kurzu měn a může dojít ke snížení ceny nakupovaných dílů v závislosti na odebraném množství.

10 Závěr

Diplomová práce se zabývala inovací a konstrukčním návrhem separátoru kovových částic určeného pro plastikářské provozy. Separace probíhá ve sloupci pomalu se pohybujícího materiálu a je možné separátor umístit přímo na hrdlo plastikářského stroje. Separátor byl navrhován jako nový výrobek pro firmu A.M. spol. s r.o., který rozšíří portfolio nabízených zařízení. Při návrhu bylo využito metod inovačního inženýrství.

Nejdříve byl proveden průzkum trhu. Zde došlo k prozkoumání různých typů separátorů. Pozornost se zaměřovala na konkurenční separátory pracující ve sloupci pomalu se pohybujícího materiálu a byly zmíněny některé jejich nedostatky. Jako další krok následoval patentový průzkum, při kterém se využilo funkčně orientovaného vyhledávání v patentových databázích. Nalezení několika patentů vedlo k odhalení dvou různých způsobů separace kovů a jednoho patentu týkajícího se odklonění materiálu. Další kapitola specifikovala uživatelské a zákaznické potřeby pomocí metody QFD. Nejdříve byly specifikovány zákaznické požadavky a stanoveny parametry separátoru, některé vycházely ze zadání a další byly doplněny. Výsledkem této kapitoly se stal seznam parametrů vycházejících z QFD, na které je třeba dbát zřetel při návrhu separátoru, tyto parametry nejvíce souvisí se zákaznickými potřebami.

V dalším kroku již bylo možné přikročit k návrhu konceptů, které vycházejí z inovačního záměru a parametrů stanovených v předchozích kapitolách. Došlo k navržení čtyř konceptů, s různými principy separace. Dva koncepty využívají pro identifikaci částice indukčního čidla a část kontaminovaného materiálu je odstraněna. Další koncept využívá principu elektrostatické separace a v posledním navrhnutém konceptu je kovová částice odstraněna díky vířivým proudům. Ze čtyř navržených konceptů bylo nutné vybrat ten nejlepší. Pro výběr se využilo metody AHP. Z rozhodujících kritérií bylo vybráno šest nejdůležitějších a provedeno vícekritériální hodnocení všech konceptů, které zohledňuje váhu jednotlivých kritérií. Správnost AHP ověřila kontrola konzistence dat, která vyšla kladně. Nejvhodnější variantou se stal koncept s indukčním čidlem a otočným mechanickým vyhazovačem (diverterem).

Pro konstrukci bylo nejdříve nutné provést výpočty navrhovaných součástí a výběr nakupovaných dílů. Jako vhodný indukční snímač byl vybrán KJR-D70AN-DNIA-VE od firmy Pulsotronic, ten identifikuje kovové částice od velikosti 1 [mm], které prochází

duťinou o průměru 70 [mm]. Dále se provedl výběr pohonu. Byly určeny odpory, které působí proti otáčení rotoru. Tyto odpory zahrnují tření plastového materiálu, tření v těsnění a moment, který je vyvolán hybností pohybujícího se materiálu. Jako pohon byl vybrán pneumatický kyvný pohon s ozubeným kolem a hřebenem od firmy SMC CRA1BXU63TF-180Z. Pro dimenzování pohonu se využilo vztahů doporučených firmou SMC pro výběr kyvných pohonů, které zohledňují odpory a moment setrvačnosti s danými koeficienty bezpečnosti. Další výpočty kontrolovaly rotorový hřídel. Zatížení hřídele opět vyplynulo z odporových sil. Byly počítány dvě varianty, kontrola hřídele za běžného provozu a kontrola při zaseknutí rotoru. Pro nejhorší variantu, tedy zaseknutí rotoru, dosahuje hřídel vyšších koeficientů bezpečnosti vzhledem k mezi únavy, ovšem průměr hřídele vychází z konstrukčního uspořádání. Posledním kontrolovaným prvkem se stala ložiska, jejich trvanlivost vyšla opět vysoká, ale ložisko je dáno konstrukcí a bylo voleno ložisko ze standardní řady s ohledem na dostupnost a cenu. Všechny kontrolované díly splňují životnost 5 let.

Velikost nejmenší detekované částice je zaručena indukčním snímačem, který detekuje kovové částice větší než 1 [mm]. Senzor obklopuje skleněnou trubku, ta umožňuje průchod materiálu o teplotách do 100 [°C] a zároveň definuje průchozí světlost separátoru na požadovaných 50 [mm]. Provozní teplota separátoru je omezena maximální pracovní teplotou senzoru 70 [°C], což splňuje požadavky. Výkon 280 [kg/hod] je zaručen výpočty při návrhu diverteru. Konstrukce předpokládá maximální velikost částic 10 [mm], případné problémy s velikostí částic odhalí testování prototypu. Zástavbová výška separátoru činí 215 [mm]. Návrh splňuje parametry zadané v cílech práce, bere zřetel na vyrobiteľnosť v podmíenkách firmy a na jednoduchost montáže. Konstrukce byla provedena s ohledem na metody DFX. Byly vytvořeny 3D modely a z nich následně výkres sestavy s kusovníkem a výrobními výkresy počítaných dílů.

Práce také zahrnuje ekonomické zhodnocení. Byla provedena kalkulace ceny jednotlivých dílů a pak i celkového zařízení. Kalkulace započítává mimo materiálové náklady i náklady na správu, náběhové náklady aj. Připočtení marže stanovilo výslednou prodejní cenu zařízení na 109524 [Kč] bez DPH.

Diplomová práce tedy splňuje všechny stanovené cíle. Výsledkem je návrh separátoru kovových částic, který splňuje požadované parametry. Návrh umožní zhotovení funkčního prototypu a jeho následné testování.

Seznam použité literatury

- [1] High-efficiency-metal-separator. Alibaba [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: https://www.alibaba.com/product-detail/High-efficiency-metal-separator-Metal-Electrostatic_60307143075.html
- [2] PROTECTOR [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://www.sesotec.com/en/profiler/production-industry/plastics-industry/injection-molding-machines/protector/>
- [3] Electronic Metal Separators EMS-23 [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <http://www.novatec.com/wp-content/uploads/2012/08/EMS-23-MAR-2015.pdf>
- [4] MAŠÍN, Ivan, Michal PETRŮ a Ondřej NOVÁK. Metody inovačního inženýrství na mikro-úrovni. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2015, 270 s. ISBN 9788074941870
- [5] Eddy current separator and method of making a rotor. US5236091A. Uděleno 1993-08-17.
- [6] High-tension electrostatic separator lifting electrode. US7973258B2. Uděleno 2011-07-05.
- [7] Diverter valve. US3489178A. Uděleno 1970-01-13.
- [8] MAŠÍN, Ivan. Inovační inženýrství: plánování a návrh inovovaného výrobku. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012, 178 s. ISBN 978-80-7372-852-6.
- [9] Průchozí indukční snímače pro detekci kovových předmětů [online]. 2013 [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/pruchozi-indukcni-snimace-pro-detekci-kovovych-predmetu>
- [10] Ring Sensors KJR [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.pulsotronic-anlagentechnik.de/images/pdf/EN/DB_Analogring_0901eng.pdf
- [11] RING VAC AIR CONVEYOR [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://nexflow.com/attachments/ring_vac.pdf
- [12] Waste Management. 2009, 29(1). ISSN 0956-063X.
- [13] SEPARÁTORÝ NEŽELEZNÝCH KOVŮ [online]. [cit. 2017-04-26]. Dostupné z: <https://www.magnety.cz/separatory-nezelezných-kovu/>
- [14] The Analytic Hierarchy Process [online]. [cit. 2017-02-28]. Dostupné z: http://www.dii.unisi.it/~mocenni/Note_AHP.pdf

- [15] Rotary Actuator: Operation Manual [online]. 2013 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
https://www.smc.eu/smc/Net/EMC_DDBB/op_manual/data/attachments/OM_CRA1-Z_OMO0006EN-B.pdf
- [16] Těsnicí prvky [online]. Rubena, 2015 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
http://www.rubena.eu/underwood/download/files/tesnici-prvky_2015.pdf
- [17] Rotary Actuator [online]. SMC [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
https://content2.smcetech.com/pdf/CRA1-C-Z_EU.pdf
- [18] JÁGROVÁ, Jitka a Lukáš ČAPEK. Dynamická únosnost a životnost. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-135-1.
- [19] Rolling bearings [online]. SKF, 2016 [cit. 2017-05-02]. Dostupné z:
http://www.skf.com/binary/151-121486/10000_3-EN-webb.pdf
- [20] ROBERT BOSCH. Kalkulační schéma. České Budějovice, 2016.
- [21] SLÍVA, Aleš. Základy zařízení úpraven: učební text předmětu "Zařízení úpraven". Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2011. ISBN 978-80-248-2732-2.
- [22] PEŠÍK, Lubomír. Části strojů: stručný přehled. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 9788073725730.
- [23] PEŠÍK, Lubomír. Části strojů: stručný přehled. Vyd. 4., dopl. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 9788073725747.
- [24] MAŠÍN, Ivan a Pavel JIRMAN. Metody systematické kreativity. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2012. ISBN 9788073728533.
- [25] LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 9788073610814.
- [26] MAŠÍN, Ivan a Ladislav ŠEVČÍK. Metody inovačního inženýrství: Inovace, plánování a navrhování výrobku. Liberec: Institut technologií a managementu, 2006. ISBN 80-903533-0-4.

Seznam obrázků

Obr. 1 – Logo A.M. spol. s.r.o. [Archiv A.M.]	13	
Obr. 2 – Zastoupení firem v ČR [vlastní]	14	
Obr. 3 – Separátory ve volném pádu [1]	18	
Obr. 4 – Princip separátoru Protector Primus [2]	19	
Obr. 5 – Protector Primus [2]	20	
Obr. 6 – Princip separátoru EMS [3]	20	
Obr. 7 – Novatec EMS [3]	20	
Obr. 8 – Separátor využívající vířivých proudů [5]	22	
Obr. 9 – Vysokonapěťový elektrostatický separátor [6]	22	
Obr. 10 – Přepínací ventil [7]	23	
Obr. 11 – Princip indukčního snímače [9]	28	
Obr. 12 – Indukční snímač KJR-D70AN-DNIA-VE [10]	29	
Obr. 13 – Koncept A použitý princip [vlastní]	29	
Obr. 14 – Princip venturi tryska [11]	30	
Obr. 15 – Koncept A [vlastní]	30	
Obr. 16 – Koncept B použitý princip [vlastní]	31	
Obr. 17 – Koncept B [vlastní]	32	
Obr. 18 – Koncept c použitý princip [vlastní]	33	
Obr. 19 – Koncept C použitý princip [vlastní]	34	
Obr. 20 – Koncept D použitý princip [vlastní]	35	
Obr. 21 – Koncept D použitý princip [vlastní]	36	
Obr. 22 – Analytic hierarchy proces (AHP) [vlastní]	38	
Obr. 23 – Výpočet konzistence dat [vlastní]	42	
Obr. 24 – Vlastní čísla [vlastní]	42	
Obr. 25 – Momenty působící na rotor [vlastní]	44	
Obr. 26 – Moment setrvačnosti rotujících částí [vlastní]	45	
Obr. 27 – Výpočty SMC [15]	46	
Obr. 28 – Třecí moment o-kroužku	Obr. 29 – Deformační síla [16]	47
Obr. 30 – Síly od tření materiálu [vlastní]	48	
Obr. 31 – Testovací přípravek [vlastní]	51	
Obr. 32 – Měření odporového momentu pryže [vlastní]	52	
Obr. 33 – Parametry kyvných pohonů SMC [17]	53	

Obr. 34 – Pneumatický kyvný pohon SMC [17]	53
Obr. 35 – Silové zatížení rotoru [vlastní]	54
Obr. 36 – Schéma reakcí hřídele v rovině xz pro běžný provoz [vlastní]	54
Obr. 37 - Průběh M_o hřídele v rovině xz při běžném provozu [vlastní]	55
Obr. 38 – Schéma reakcí hřídele v rovině xy pro běžný provoz [vlastní]	56
Obr. 39 - Průběh M_o hřídele v rovině xy při běžném provozu [vlastní]	57
Obr. 40 – Průběh M_o hřídele v rovině xz při max. zatížení [vlastní]	58
Obr. 41 - Průběh M_o hřídele v rovině xy při max. zatížení [vlastní]	59
Obr. 42 – S –N křivka [18]	60
Obr. 43 – Konstrukce separátoru [vlastní]	63
Obr. 44 – Separátor s rozvaděčem doplněný o řídicí systém [vlastní]	64
Obr. 45 – Konstrukce divertéru [vlastní]	64
Obr. 46 – Řez separátoru v ose rotoru [vlastní]	65

Seznam tabulek

Tab. 1 – Parametry separátoru	15
Tab. 2 – Požadované parametry čidla	28
Tab. 3 – Kritéria	39
Tab. 4 – Min. velikost částic	39
Tab. 5 – Množství odstraněného materiálu	40
Tab. 6 – Rychlost odstranění částice	40
Tab. 7 – Jednoduchost konstrukce	40
Tab. 8 – Spolehlivost	40
Tab. 9 – Max. zástavbová výška	41
Tab. 10 – Výsledná matice	41
Tab. 11 – Hodnoty random indexu RI [14]	43
Tab. 12 – Parametry rotujících částí	45
Tab. 13 – Naměřené hodnoty ohybu pryže	52
Tab. 14 – Náklady na jednotlivé položky	67

Seznam příloh

Příloha 1 – Matice QFD

Příloha 2 – SK-100

Sestava separátoru

Příloha 3 – SK-100 – k

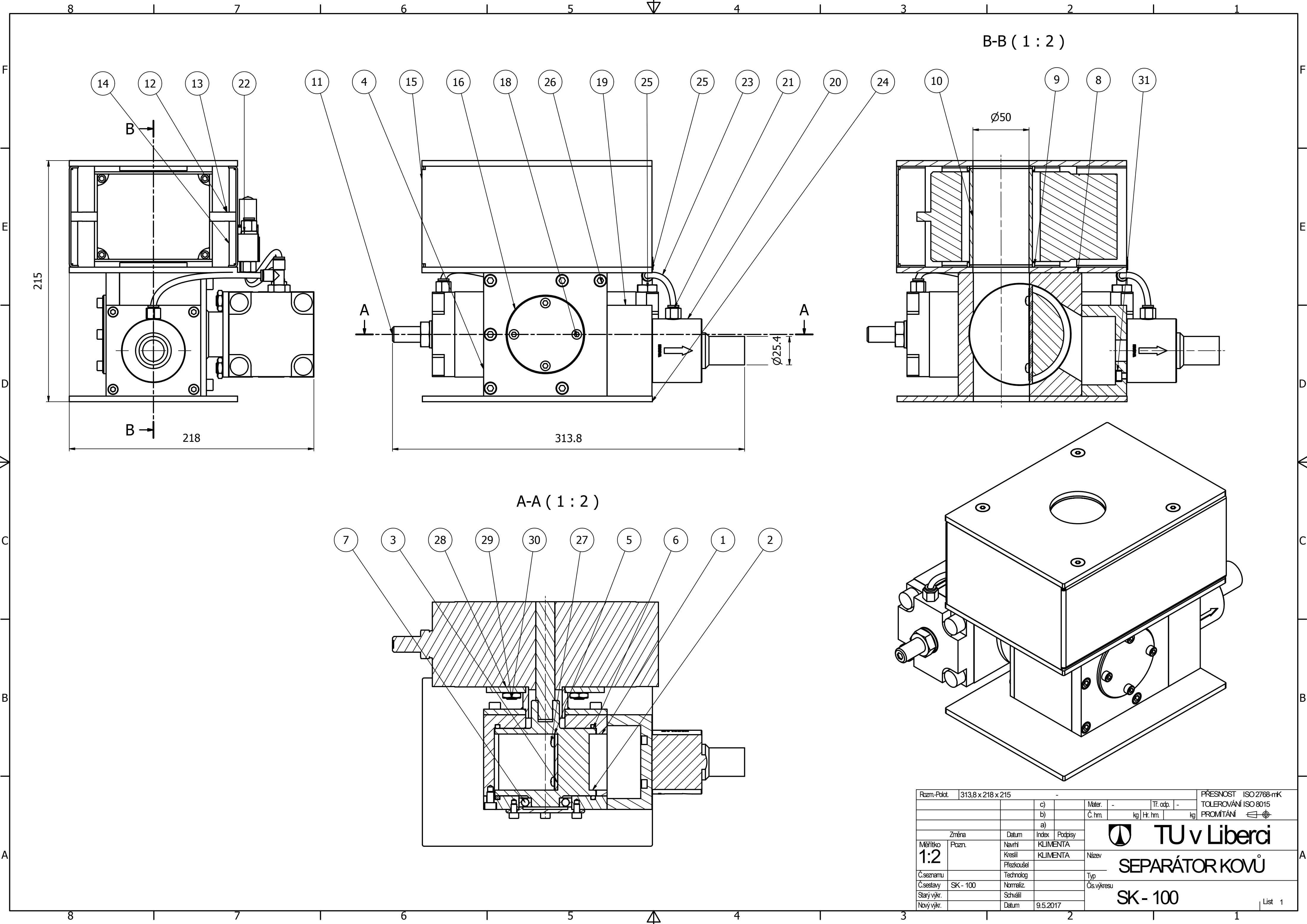
Kusovník



Příloha 4 – SK-100-02

Výkres rotoru

Příloha 1 - Matice QFD

			<div><div></div></div>														
			Jednotka														
			Váha	mm	g	s	l/min	mm	mm	mm	mm	mm	°C	°C	h	A/N	kg
Spolehlivost	Detekce částice	10	⊙	○	○	⊙	⊙	⊙		⊙	•				⊙	•	
	V odstranění kovové částice	10	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		⊙	○				⊙		
	Odolnost vůči rušivým vlivů	6	⊙	⊙	○						•	○			○		
Univerzálnost	Pro různé stroje	7	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	○	⊙	⊙	⊙	○	○	○	○	○
	Pro různé materiály	7	⊙	○	○	○	○	⊙		○	⊙						○
Funkční požadavky	Velké průtočné množství	7	⊙	○	⊙	⊙	⊙		•	○	•				○	○	○
	Minimum odstraněného materiálu	8	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙	•	⊙					○		
Rychlost	Vysokou rychlost odstranění částice	7	•	⊙	⊙	⊙	⊙	⊙		○					○		
	Nezpomalování toku materiálu	9	○	⊙	⊙	○	○	○	○	○	•				○		
Snadná údržba	Snadné čištění zařízení	6					○		•		○	○	⊙			○	○
	Snadná výměna dílů	6							○				⊙			○	⊙
	Snadná identifikace poškozených dílů	5				•			•					⊙	○	○	•
Vysoká životnost	Odolnost při průchodu materiálu	6			○	○	○	○		•	○	•					⊙
	Odolnost vůči vyšším teplotám	6			○		•	•		•	⊙	○					⊙
Automatizace	Samočinný proces	8	•	•	•								○	⊙		•	
	Robustní konstrukce	7		•	•	○	○		⊙		○	○	•			⊙	⊙
	Minimální nutnost lidského zásahu	7		○		•		•				•	○	⊙			⊙
Podaná informace	O množství kovových částic v materiálu	5	○	○	○					•					⊙		
	O stavu zásobníku odpadového materiálu	4	•	○	○										⊙		
	O problému zařízení	6													⊙	○	
Rozměry	Malý zástavbový prostor	6	•	○	○	⊙	⊙	○	⊙	•	○	•	○			⊙	•
	Malá výška	6	•		○	○	○	•	⊙	○			○			⊙	⊙
Jednoduchost	Jednoduchá konstrukce	7	○	○	○	○	○	○	•	○	⊙	•	○	⊙	•	○	○
	Jednoduchá montáž	7							⊙	○	•	○			⊙		○
Absolutní významnost			589	597	624	633	645	544	333	488	387	185	238	690	362	419	247
Relativní významnost			8,44	8,55	8,94	9,07	9,24	7,79	4,77	6,99	5,54	2,65	3,41	9,88	5,19	6	3,54
Směr zlepšování			↓	↓	↓	↑	•	↑	↑	↑	↑	↑	↓	•	↓	↑	↑
Navrhovaná hodnota			1	200	4	30	50	10	300	2000	90	60	0,2	ANO	20	8000	250



Rozm.-Polot.		313,8 x 218 x 215		-				PŘESNOST ISO 2768-mK									
				c)				Mater.		-		Tř. odp.		-		TOLEROVÁNÍ ISO 8015	
				a)				Č. hm.		kg		Ht. hm.		kg		PROMÍTÁNÍ 	
Změna		Datum		Index		Podpisy		 TU v Liberci									
Měřítka 1:2		Pozn.		Navrhl		KLIMENTA											Kreslil
Č. zeznamu				Technolog				Typ									
Č. sestavy		SK - 100		Normaliz.				Čís. výkresu									
Starý výkr.				Schválil													
Nový výkr.				Datum		9.5.2017											
																List 1	

Kusovník

POZICE	KS	ČÍSLO SOUČÁSTI	POPIS
1	1	SK - 100 - 01	Tělo diverteru
2	1	SK - 100 - 02	Rotor diverteru
3	1	SK - 100 - 03	Těsnění rotoru
4	1	SK - 101	Přední víko
5	1	SK - 100 - 04	Přítlačný plech těsnění
6	2	NBR70 81x3,5 DIN3770	O-kroužek 81x3,5 NBR70 (DIN3770)
7	1	DIN 625 SKF - SKF 16005	Kuličková ložiska jednořadá
8	2	SK - 102	Horní příruba
9	2	SK - 100 - 05	Těsnění trubky
10	1	SK - 100 - 06	Skleněná trubka
11	1	CRA1BXU63TF-180Z(B_0)	Pneumatický kyvný pohon
12	1	KJR-D70AN	Indukční snímač
13	4	SK - 100 - 07	Vzpěrná tyč 1
14	4	SK - 100 - 08	Vzpěrná tyč 2
15	1	SK - 100 - 09	Kryt čidla
16	1	SK - 100 - 10	Víčko přední
17	8	DIN 7991 - M6x8	Šrouby se zapuštěnou hlavou s vnitřním šestihranem
18	10	DIN 912 - M5 x 8	Šroub s válcovou hlavou
19	1	SK - 100 - 11	Odsávací kapsa
20	1	Nex flow 30001	Venturi tryska
21	5	KQ2H06-G01A	Nástrčná spojka přímá
22	1	VKF332-5D-01F-Q	Elektromagnetický přímo ovládaný 3/2ventil
23	1	TU 0604 BU	Polyuretanová hadice délka 420 mm
24	1	SK - 100 - 12	Spodní příruba
25	1	KQ2Y06-G02A	Nástrčná spojka, Y
26	10	DIN 912 - M6 x 10	Šroub s válcovou hlavou
27	4	ISO 7045 - M4 x 5 - 4.8 - Z	Šroub se zápusťnou komolou kuželovou hlavou
28	1	SK - 103	Příruba kyvného pohonu
29	4	DIN 913 - M10 x 20	Stavěcí šroub s vnitřním šestihranem
30	4	ISO 4035 - M10	Šestihranné matice nízké se zkosením
31	3	DIN 912 - M5 x 10	Šroub s válcovou hlavou

Změna		Datum	Index	Podpisy
Měřítka	Pozn.	Navrhl		
N		Kreslil	KLIMENTA	
		Přezkoušel		
Č.seznamu		Technolog		
Č.sestavy	SK - 100	Normaliz.		
Starý výkr.		Schválil		
Nový výkr.		Datum		



TU v Liberci

Název

SEPARÁTOR KOVŮ

Typ

Čís.výkresu

SK - 100 - K

